

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Hrvoje Hermanović**

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Igor Balen, dipl. ing.

Student:

Hrvoje Hermanović

Zagreb, 2015.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof.dr.sc. Igoru Balenu na ukazanoj pomoći pri izradi ovog rada.

Hrvoje Hermanović



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	0 - 11 - 2015 Prilog
Klasa:	602-04/15-613
Ur.broj:	15-1703-15-453

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student:

**HRVOJE HERMANOVIĆ**

Mat. br.: 0119000510

Naslov rada na  
hrvatskom jeziku:

**PROJEKT SUSTAVA GRIJANJA I HLAĐENJA UREDA  
POSLOVNO SERVISNE ZGRADE**

Naslov rada na  
engleskom jeziku:

**DESIGN OF HEATING AND COOLING SYSTEM FOR OFFICES  
IN BUSSINESS AND SERVICES BUILDING**

Opis zadatka:

U ovom radu, potrebno je izraditi projekt sustava grijanja i hlađenja za uredski dio poslovno servisne zgrade ukupne korisne površine 630 m<sup>2</sup>, prema zadanoj arhitektonskoj podlozi. Uredski dio zgrade ima tri etaže (Po + Pr + 1K). Najprije je potrebno usporediti tri varijante rješenja sustava grijanja i hlađenja zgrade prema metodologiji iz Elaborata primjenjivosti alternativnih sustava opskrbe energijom te odabrati optimalno tehničko rješenje na temelju usporedbe investicijskih i pogonskih troškova. Odabrano rješenje sustava potrebno je razraditi na razini glavnog projekta. Predvidjeti prisilnu ventilaciju. Predvidjeti pripremu potrošne tople vode u izvedbi akumulacijskog sustava. Zgrada se nalazi na području grada Zagreba.

Na raspolaganju su energetske izvori:

- plinski priključak ST,
- elektro-priključak 230/400V; 50Hz,
- vodovodni priključak tlaka 5 bar.

Rad treba sadržavati:

- toplinsku bilancu zgrade za zimu/ljeto,
- proračun investicijskih i pogonskih troškova za tri varijante rješenja,
- tehničke proračune koji definiraju izbor opreme,
- tehnički opis funkcije termotehničkog postrojenja,
- funkcionalnu shemu spajanja i shemu regulacije,
- crteže kojima se definira raspored i montaža opreme.

Potrebni ulazni podaci bit će dostupni od mentora. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

24. rujna 2015.

Rok predaje rada:

26. studenog 2015.

Predviđeni datumi obrane:

2., 3. i 4. prosinca 2015.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Igor Balen

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

## Sadržaj

POPIS SLIKA.....	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE.....	V
POPIS OZNAKA.....	VI
1 UVOD.....	1
2 OPIS ZGRADE .....	3
3 PROJEKTNI TOPLINSKI GUBICI ZGRADE .....	5
4 PROJEKTNO TOPLINSKO OPTEREĆENJE ZGRADE.....	7
5 GODIŠNJE POTREBNA ENERGIJA ZA GRIJANJE I HLAĐENJE.....	9
5.1 Toplinski dobici .....	10
5.2 Potrebna toplinska energija za grijanje $Q_{H,nd}$ .....	11
5.3 Potrebna toplinska energija za hlađenje $Q_{C,nd}$ .....	12
6 VENTILACIJA ZGRADE .....	14
6.1 Odabir grijača i hladnjaka klima komore.....	16
7 POTROŠNA TOPLA VODA.....	17
8 TEHNOEKONOMSKA ANALIZA .....	18
8.1 Određivanje potrebne energije za ventilaciju.....	18
8.2 Varijanta rješenja GViK sustava br.:1 .....	20
8.2.1 Opis sustava .....	20
8.2.2 Određivanje energijskih zahtjeva termotehničkog sustava - grijanje .....	21
8.2.3 Određivanje energijskih zahtjeva termotehničkog sustava – hlađenje .....	23
8.2.4 Utjecaj rada GViK sustava na okoliš .....	24
8.2.5 Pogonski troškovi.....	24
8.2.6 Investicijski troškovi .....	25
8.3 Varijanta rješenja GViK sustava br.:2 .....	27
8.3.1 Opis sustava .....	27
8.3.2 Određivanje energijskih zahtjeva termotehničkog sustava – grijanje.....	28
8.3.3 Određivanje energijskih zahtjeva termotehničkog sustava – hlađenje .....	29
8.3.4 Utjecaj rada GViK sustava na okoliš .....	30
8.3.5 Pogonski troškovi.....	30
8.3.6 Investicijski troškovi .....	30
8.4 Varijanta rješenja GViK sustava br.:3 .....	33
8.4.1 Opis sustava .....	33
8.4.2 Određivanje energijskih zahtjeva termotehničkog sustava – grijanje.....	34
8.4.3 Određivanje energijskih zahtjeva termotehničkog sustava – hlađenje .....	39
8.4.4 Utjecaj rada GViK sustava na okoliš .....	39
8.4.5 Pogonski troškovi.....	40
8.4.6 Investicijski troškovi .....	40
9 ODABIR OPTIMALNOG RJEŠENJA.....	43
10 ODABIR OPREME.....	47

10.1	Plinski kondenzacijski uređaj.....	47
10.2	Ventilokonvektori .....	47
10.3	Podno grijanje .....	49
10.4	Troputni miješajući ventili .....	49
10.5	Sabirnik i razdjelnik vode .....	50
10.6	Cirkulacijske pumpe .....	50
10.7	Ekspanzijske posude .....	51
10.8	Spremnik PTV.....	52
10.9	Regulacija sustava grijanja i pripreme PTV .....	52
10.10	Rashladnik vode.....	53
10.11	Klimatizacijska jedinica .....	54
10.12	Distributeri zraka i odsisne rešetke .....	55
10.13	Regulatori varijabilnog protoka .....	56
10.14	Sobni regulatori protoka zraka.....	56
11	PRORAČUN CJEVOVODA .....	57
12	PRORAČUN VENTILACIJSKIH KANALA .....	60
13	TEHNIČKI OPIS.....	62
13.1	Sustav grijanja.....	62
13.2	Sustav hlađenja .....	64
13.3	Sustav ventilacije .....	65
13.4	Priprema PTV .....	67
14	ZAKLJUČAK.....	68
	LITERATURA.....	69

## POPIS SLIKA

<i>Slika 1.</i>	<i>Energetski trendovi u posljednjih 25 godina [1]</i>	1
<i>Slika 2.</i>	<i>Prikaz situacije</i>	3
<i>Slika 3.</i>	<i>5R1C model [5]</i>	9
<i>Slika 4.</i>	<i>Mjesečne vrijednosti toplinskih dobitaka od Sunca</i>	10
<i>Slika 5.</i>	<i>Raspored korištenja zgrade</i>	11
<i>Slika 6.</i>	<i>Mjesečne vrijednosti toplinske energije za grijanje zgrade</i>	11
<i>Slika 7.</i>	<i>Mjesečne vrijednosti toplinske energije za hlađenje zgrade</i>	13
<i>Slika 8.</i>	<i>Pretpostavljeni period potrošnje PTV</i>	17
<i>Slika 9.</i>	<i>Mjesečne vrijednosti isporučene toplinske energije dobavnom zraku</i>	19
<i>Slika 10.</i>	<i>Mjesečne vrijednosti preuzete toplinske energije iz dobavnog zraka</i>	19
<i>Slika 11.</i>	<i>Podjela termotehničkog sustava grijanja i pripreme PTV na podsustave s prikazom ulazno/izlaznih veličina [10]</i>	22
<i>Slika 12.</i>	<i>Mjesečne vrijednosti isporučene toplinske energije kotlu na pelete</i>	22
<i>Slika 13.</i>	<i>Mjesečne vrijednosti toplinske energije odvedene na vanjskoj jedinici VRV uređaja</i>	23
<i>Slika 14.</i>	<i>Mjesečne vrijednosti isporučene toplinske energije plinskom kondenzacijskom kotlu</i>	28
<i>Slika 15.</i>	<i>Mjesečne vrijednosti odvedene topline iz zgrade pomoću rashladnika vode</i>	29
<i>Slika 16.</i>	<i>Potrebne toplinske energije za grijanje (lijevo) i pripremu PTV (desno) po binovima</i>	39
<i>Slika 17.</i>	<i>Godišnje isporučena energija za grijanje i pripremu PTV po sustavima</i>	43
<i>Slika 18.</i>	<i>Godišnje isporučena energija za hlađenje po sustavima</i>	44
<i>Slika 19.</i>	<i>Godišnje primarne energije po sustavima</i>	44
<i>Slika 20.</i>	<i>Utjecaj pojedinog sustava na okoliš emisijom CO<sub>2</sub></i>	45
<i>Slika 21.</i>	<i>Pregled ukupnih troškova sustava kroz period od 20 godina korištenja</i>	46

## POPIS TABLICA

<i>Tablica 1. Koeficijenti prolaza topline i debljine pojedinih građevnih dijelova.....</i>	<i>4</i>
<i>Tablica 2. Projektni toplinski gubici po prostorijama u zgradi .....</i>	<i>6</i>
<i>Tablica 3. Projektna toplinska opterećenja po prostorijama u zgradi.....</i>	<i>8</i>
<i>Tablica 4. Potrebne količine dobavnog zraka po prostorijama .....</i>	<i>15</i>
<i>Tablica 5. Količine odsisanog zraka iz sanitarija .....</i>	<i>15</i>
<i>Tablica 6. Pregled utrošenih energija po vrsti i sustavu – 1. varijanta rješenja .....</i>	<i>24</i>
<i>Tablica 7. Procijenjeni pogonski troškovi – 1.varijanta rješenja .....</i>	<i>24</i>
<i>Tablica 8. Pregled utrošenih energija po vrsti i sustavu – 2.varijanta rješenja .....</i>	<i>30</i>
<i>Tablica 9. Procijenjeni pogonski troškovi – 2.varijanta rješenja .....</i>	<i>30</i>
<i>Tablica 10. Proračun težinskih faktora za dizalicu topline voda/voda.....</i>	<i>36</i>
<i>Tablica 11. Radne karakteristike odabrane dizalice topline.....</i>	<i>36</i>
<i>Tablica 12. Izlazni rezultati proračuna rada dizalice topline.....</i>	<i>38</i>
<i>Tablica 13. Pregled utrošenih energija po vrsti i sustavu – 3. varijanta rješenja.....</i>	<i>40</i>
<i>Tablica 14. Procijenjeni pogonski troškovi – 3.varijanta rješenja .....</i>	<i>40</i>
<i>Tablica 15. Pregled pogonskih i investicijskih troškova .....</i>	<i>45</i>
<i>Tablica 16. Odabrani ventilokonvektori po prostorijama .....</i>	<i>49</i>
<i>Tablica 17. Odabrane dobavne rešetke po prostorijama.....</i>	<i>55</i>
<i>Tablica 18. Odabrani stropni distributeri i zračni ventili po prostorijama.....</i>	<i>55</i>
<i>Tablica 19. Odabrani regulatori varijabilnog protoka zraka po prostorijama.....</i>	<i>56</i>
<i>Tablica 20. Preporučene brzine strujanja vode u cijevima .....</i>	<i>57</i>
<i>Tablica 21. Rezultati proračuna cijevne mreže ventilokonvektora .....</i>	<i>58</i>
<i>Tablica 22. Rezultati proračuna razvoda grijača/hladnjaka klimatizacijske jedinice.....</i>	<i>59</i>
<i>Tablica 23. Rezultati proračuna razvoda podnog grijanja podruma .....</i>	<i>59</i>
<i>Tablica 24. Rezultati proračuna dobavnih ventilacijskih kanala .....</i>	<i>60</i>
<i>Tablica 25. Rezultati proračuna odsisnih ventilacijskih kanala .....</i>	<i>61</i>



## **POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

1. Funkcionalna shema spajanja i regulacije sustava grijanja i hlađenja
2. Funkcionalna shema ventilacijskog sustava
3. Tlocrt podruma – Cijevni razvod grijanja
4. Tlocrt prizemlja – Cijevni razvod grijanja i hlađenja
5. Tlocrt kata – Cijevni razvod grijanja i hlađenja
6. Dispozicija kotlovnice
7. Tlocrt podruma – Razvod ventilacijskih kanala
8. Tlocrt prizemlja – Razvod ventilacijskih kanala
9. Tlocrt kata – Razvod ventilacijskih kanala
10. Dispozicija klimatizacijske jedinice

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$COP$	-	faktor grijanja
$U$	$W/(m^2 K)$	koeficijent prolaza topline
$s$	$cm$	debljina zida
$\vartheta_e$	$^{\circ}C$	temperatura vanjskog zraka
$\vartheta_{int}$	$^{\circ}C$	temperatura unutarnjeg zraka
$\vartheta_{adj}$	$^{\circ}C$	temperatura susjednog dijela zgrade
$n_{50}$	$h^{-1}$	izmjena zraka pri razlici tlaka 50Pa
$e_i$	-	koeficijent zaštićenosti od vjetra
$\varepsilon_i$	-	korekcijski faktor za visinu
$f_{RH}$	$W/m^2$	korekcijski faktor ta vrijeme zagrijavanja
$\Phi_{ls}$	$kW$	toplinski gubitak
$Q_{P,dry}$	$W$	odavanje topline ljudskog tijela
$E_N$	$lx$	nominalni intenzitet osvjetljenja
$p$	$W/(m^2 klx)$	specifična instalirana snaga rasvjete
$g$	-	stupanj propuštanja ukupne energije kroz ostakljenje
$Q_{H,nd}$	$kWh/a$	godišnje potrebna energija za grijanje
$Q_{C,nd}$	$kWh/a$	godišnje potrebna energija za hlađenje
$Q'_{H,nd}$	$kWh/(m^2 a)$	specifična godišnje potrebna energija za grijanje
$Q'_{C,nd}$	$kWh/(m^2 a)$	specifična godišnje potrebna energija za hlađenje
$Q_{int}$	$kWh$	unutarnji toplinski dobici
$Q_{sol}$	$kWh$	solarni toplinski dobici
$\eta$	%	stupanj povrata topline rekuperatora
$V_{o,p}$	$m^3/h$	dobavna količina zraka po osobi
$\Phi_{gr}$	$kW$	nazivni ogrjevni učin grijača klimatizacijske jedinice
$\Phi_{hl}$	$kW$	nazivni rashladni učin hladnjaka klmatizacijske jedinice
$\Phi_k$	$kW$	nazivni toplinski učin kotla
$\Phi_{DT}$	$kW$	nazivni toplinski učin dizalice topline
$E_{ve,sys}$	$kWh$	električna energija potrebna za pogon dobavnog i odsisnog ventilatora klimatizacijske jedinice
$Q_{HW,gen,in}$	$kWh$	toplinska energija isporučena generatoru topline
$E_{del}$	$kWh$	isporučena ukupna energija (gorivo i električna energija) sustavu
$E_{prim}$	$kWh$	primarna energija
$Q_{C,gen, out}$	$kWh$	rashladna energija isporučena podsustavu razvoda i predaje
$E_{C,gen,del,el}$	$kWh$	potrebna električna energija za rad rashladnog uređaja

$C_{p,i}$	-	faktor pretvorbe $i$ -te energije za emisiju $CO_2$
$CO_2$	kg	emisija ugljičnog dioksida u atmosferu
$DH_{H,j}$	°Ch	stupanj sati grijanja $j$ -tog razreda
$k_{H,j}$	-	težinski faktor grijanja $j$ -tog razreda
$k_{w,j}$	-	težinski faktor pripreme PTV $j$ -tog razreda
$E_{H,hp,in}$	kWh	električna energija isporučena dizalici topline za grijanje
$E_{W,hp,in}$	kWh	električna energija isporučena dizalici topline za pripremu PTV
$E_{W,bu,in}$	kWh	električna energija isporučena električnom grijaču spremnika PTV
$E_{aux,in}$	kWh	električna energija isporučena pomoćnim uređajima sustava grijanja
$E_{hp,del,in}$	kWh	ukupna isporučena električna energija dizalici topline
$EER$	-	faktor hlađenja
$PLV_A$	-	faktor parcijalnog opterećenja rashladnog uređaja

## **SAŽETAK**

Cilj ovog rada je bio izraditi projekt sustava grijanja, hlađenja i ventilacije poslovno-servisne zgrade smještene u gradu Zagrebu. Temelj cjelokupnih proračuna su toplinski gubici i toplinsko opterećenje zgrade, dobiveni prema normama HRN EN 12831 i VDI 2078, prema kojima je dimenzionirana potrebna oprema. Temeljem norme HRN EN 13790 je određena godišnje potrebna energija za grijanje i hlađenje zgrade te u kombinaciji sa normama HRN EN 15316 i HRN EN 15243, električna energija i energija koju je gorivom potrebno isporučiti GViK sustavu s ciljem postizanja traženih parametara toplinske ugodnosti u zgradi.

Kako bi se osiguralo da GViK sustav ima najbolji mogući odnos pogonskih prema investicijskim troškovima, provedena je tehnoekonomska analiza 3 varijante sustava. Naglasak je stavljen na alternativne izvore energije i visokoučinkovite sustave. U prvoj varijanti je razmatran cjelogodišnji rad kotla na pelete za grijanje prostora i pripremu PTV te VRV sustava hlađenja. Druga varijanta je obuhvatila plinski kondenzacijski kotao u kombinaciji sa rashladnikom vode sa zrakom hlađenim kondenzatorom. Treća varijanta rješenja je bila geotermalna dizalica topline podzemna voda / voda kao centralnog sustava za grijanje i hlađenje. Provedenom tehnoekonomskom analizom odabrana je druga varijanta sustava jer se pokazalo da ima najniže investicijske troškove dok se pogonski troškovi ne razlikuju značajno od pogonskih troškova ostala dva sustava.

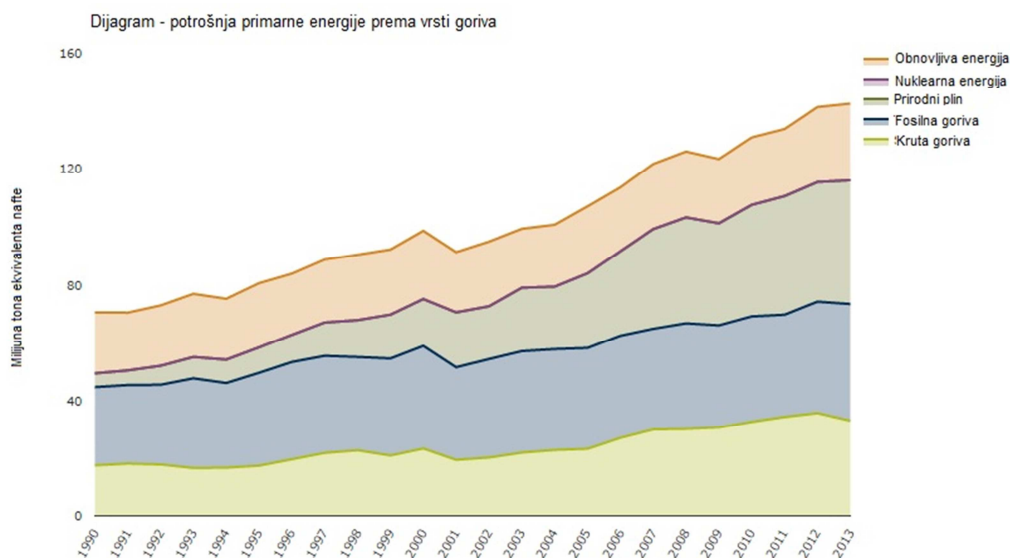
## **SUMMARY**

The purpose of this thesis was to design a system for heating, refrigeration and ventilation for a business and service building located in the city of Zagreb. Basis for all the calculations made in the thesis were the buildings heat loss and cooling load which were calculated according to standards HRN EN 12831 and VDI 2078, by which all the necessary system components were selected. The required yearly thermal energy for heating and cooling was calculated according to HRN EN 13790. Those values in combination with standards HRN EN 15316 and HRN EN 15243 resulted in required electrical energy and fuel as input in the buildings HVAC system with the goal of achieving the desired parameters of thermal comfort for all the occupants.

As to ensure that the HVAC system has the optimal ratio of operating to investment costs a technical and economic analysis of 3 different systems were conducted. Alternative energy sources and high-efficiency systems are highlighted here. In the first proposed system a pellet boiler for heating and domestic hot water production in combination with VRV cooling system were considered. The second system consists of a condensing gas boiler and a water chiller with an air cooled condenser. The third proposed system solution was a geothermal heat pump which uses underground water as a heat source / sink as a central apparatus for heating and cooling. The chosen system was the second one because it had the lowest investment costs among the three systems with operating costs that do not differ much from the other systems.

# 1 UVOD

Rastući globalni trend korištenja energije rezultira sve kompleksnijom energetsom mrežom te podiže zabrinutost o mogućnostima i ograničenjima stabilne isporuke energije krajnjim potrošačima. Rast potražnje uvjetuje i rast cijena energije. Uz to, izvori glavnih današnjih energenata, fosilnih goriva i zemnog plina su ograničene, zbog čega se i nazivaju neobnovljivim energetske izvorima. Korištenjem (izgaranjem) neobnovljivih energetske izvora se degradira kvaliteta zraka i podiže razina CO<sub>2</sub> u atmosferi što za posljedicu ima izravni i neizravni utjecaj na ljude kao i na sva živa bića na planeti. Izravni utjecaji su u vidu raznih respiratornih i genetskih bolesti kao posljedica emisija nadražujućih i kancerogenih plinova i krutih čestica kao produktata izgaranja unutar toplinskih strojeva. Posljedica svih ovih čimbenika je jačanje ekološke svijesti građana i jačanju pojma održivog razvoja.



Slika 1. Energetski trendovi u posljednjih 25 godina [1]

## 1.1. Energija u GViK sustavima

Nerealno je očekivati kako će se globalni apetit za energijom smanjiti. Rast životnog standarda u razvijenim društvima je proporcionalan rastu potrošnje energije. Korištenje energije u sustavima grijanja, hlađenja i ventilacije u zgradarstvu prati taj trend, osobito kada se uzme u obzir da se u zgradama provede 90% ukupnog vremena. Naime, kvaliteta života u pogledu boravka u zatvorenim prostorima je ovisna o parametrima toplinske ugodnosti kao

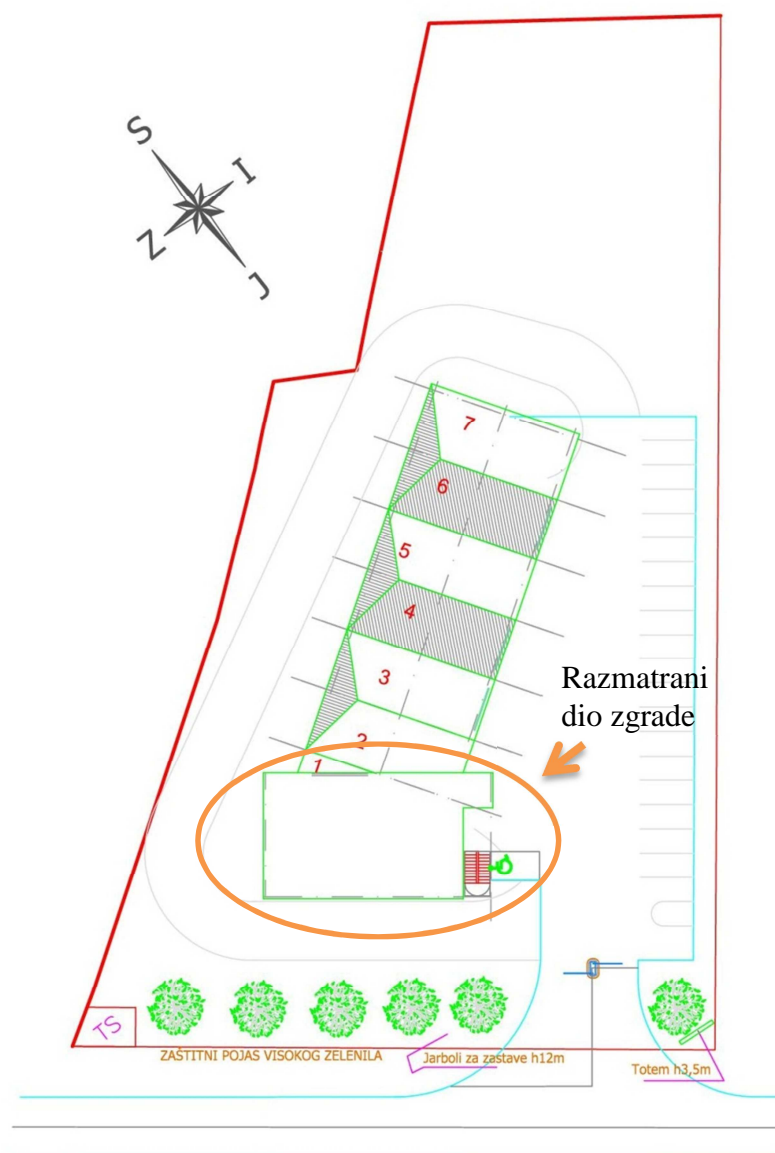
što su temperatura zraka, ploha, vlažnost zraka, brzina strujanja zraka u zoni boravka ljudi te njegova kvaliteta. Toplinska ugodnost je definirana prema ISO 7730 kao stanje svijesti koje izražava zadovoljstvo toplinskim stanjem okoliša, pa je prema tome osjećaj toplinske ugodnostima nužno individualan. Kao takav, navike ljudi su jedan od glavnih faktora koji utječu na potrošnju energije i na njih se može neznatno utjecati. Međutim, na tehnološke faktore koji utječu na potrošnju se može utjecati, a to su učinkovitost ugrađenog sustava, korišteni izvor energije, toplinska izolacija zgrade. Upravo iz tog razloga, kao i želje da se energija koristi čim racionalnije moguće je uvedeno niz pravilnika i propisa u nacionalnim regulativama sa ciljem postizanja tih ciljeva. Primjer je Tehnički propis o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama gdje je definirano niz zahtjeva koji moraju biti zadovoljeni prilikom projektiranja i izvođenja sustava u zgradama i samih zgrada.

Činjenica je da su iznimno efikasni sustavi koji su u stanju ostvariti tražene parametre toplinske ugodnosti uz relativno malu potrošnju energije su relativno skupi. Primjer je dizalica topline koja koristi podzemnu vodu kao toplinski izvor u režimu grijanja te kao toplinski ponor u režimu hlađenja. Kao primjer se uzima dizalica toplina Viessmann Vitocal 300G koja u ispitivanjima definiranim prema normi EN14511 i temperaturnim uvjetima W10/W35 ima faktor grijanja (COP) jednak 6,3 [2]. To znači da će za svaki kW dovedene električne energije isporučiti 6,3 kW toplinske energije (pod danim temperaturim uvjetima toplinskog izvora i ponora). Uz sami uređaj je potrebno izvršiti iskope crpnih i uponih bunara, a takav tip sustava je primjenjiv samo u slučaju adekvatno izdašnog podzemnog toka.

Iz navedenih razloga, pri početnom razmatranju odabira sustava grijanja i hlađenja potrebno je odvagati prednosti i mane nekoliko konfiguracija. To se provodi u vidu godišnje isporučene energije za svaki od sustava, čime se određuju pogonski troškovi i investicijskih troškova. Naime, sustavi sa velikim investicijskim troškovima su opravdani jedino ukoliko je ušteda na pogonskim troškovima dovoljno velika da se u određenom željenom periodu ta investicija isplati. U protivnom se uzimaju rješenja sustava koji su manje efikasna ali prema investicijskim troškovima predstavljaju bolji izbor. Optimalni sustav za danu primjenu se odabire prema periodu povrata investicije.

## 2 OPIS ZGRADE

Zgrada se sastoji od 2 dijela: proizvodne hale i poslovno – servisne prostora. Proizvodna hala nije u sklopu projektnog zadatka te se razmatra samo u pogledu utjecaja na energetske tokove kroz susjedni zid. Poslovno – servisni prostor se sastoji od 3 etaže: podrum, prizemlje i kat. Orijentacija zgrade, kao i same parcele na kojoj se nalazi je vidljivo na slici 2.



Slika 2 . Prikaz situacije

Zgrada je pravokutnog oblika, pri čemu joj je duljina jednaka 20.6 m, širina 13 m, a visina 7.1 m od razine tla, s time da je podrum u potpunosti ukopan u zemlju na dubini od 3.2 m.



Podrum je namijenjen kao skladišni prostor klima uređaja i sastoji se od 3 prostorije te pumpne/sprinkler stanice do kojih vodi stubište iz prizemlja. Cijeli podrumski prostor nema prozora i vanjskih vrata te su mu jedine pristupne točke navedeno stubište iz prizemlja te vrata koja vode iz podruma proizvodne hale za unos skladištene opreme i materijala. Korištenje podrumskih prostorija je sporadično, tj. u kratkim periodima potrebnim za skladištenje i preuzimanje robe.

Prizemlje je servisni dio zgrade koji se sastoji od sobe poslovođe/skladištara, kratkog hodnika koji vodi do vanjskih vrata prema parkiralištu, garderobe djelatnika iz koje se ulazi u sanitarije, skladišta čistačice u sredini etaže, ureda, radionice te kotlovnice i stubišta prema podrumu. Sanitarni čvor je opremljen sa dva tuša.

Kat je uredski dio zgrade te ima vlastiti ulaz odvojen od prizemlja iako sa iste strane zgrade. Do ulaznih vrata kata se pristupa po vanjskom stepeništu sa jugoistočne strane zgrade. Sastoji se od 3 uredske prostorije, sobe za sastanke, sanitarnog čvora, čajne kuhinje, središnjeg hodnika te prijema do kojeg se dolazi iz vjetrobrana. Iznad kata je ravni krov adekvatno toplinski i hidroizoliran.

Svaka etaža je visoka 3.2 m, te se predviđa ugradnja visećeg stropa (osim u podrumu). Lokacija zgrade ima plinski i vodovodni priključak te priključak na električnu mrežu.

Fizikalne karakteristike ovojnice zgrade su preuzete iz Tehničkog propisa o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradi gdje su propisane najveće dozvoljene vrijednosti koeficijenta prolaza topline za pojedine građevne dijelove. Vrijednosti U-koeficijenata i debljina zidova su prikazani u tablici 1.

<i>Građevni dio</i>	<i>U [W/m<sup>2</sup>K]</i>	<i>s [cm]</i>
Vanjski zidovi, zidovi prema tavanu	0,3	30
Ravni krov iznad grijanog prostora	0,25	40
Zidovi prema negrijanim prostorijama	0,4	20
Zidovi prema tlu, podovi prema tlu	0,3	40
Prozori	1,4	-
Vanjska vrata, vrata prema negrijanom prostoru	2	-

*Tablica 1. Koeficijenti prolaza topline i debljine pojedinih građevnih dijelova*

### 3 PROJEKTNI TOPLINSKI GUBICI ZGRADE

Proračun toplinskih gubitaka zgrade proveden je prema metodologiji opisanoj u normi HRN EN 12831 [3], te se svi izrazi korišteni za dobivanje konačnih rezultata mogu tamo pronaći. Glavni parametri koji utječu na toplinske gubitke zgrade su razlika između unutarnje i vanjske temperature zraka, koeficijent prolaza topline kroz zid, zrakotijesnost ovojnice zgrade (infiltracija) te masivnost građevnih dijelova koji utječu na veličinu dodatnog kapaciteta za zagrijavanje pri prekidu grijanja. Utjecaj toplinskih mostova je uzet pojednostavljeno kao dodatak od  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  na koeficijente prolaza topline za vanjske zidove. Sljedeće su dani ulazni podaci za proračune:

- vanjska projektna temperatura za Zagreb:  $\vartheta_e = -15^\circ\text{C}$
- unutarnja projektna temperatura (prizemlje+kat):  $\vartheta_{int} = 20^\circ\text{C}$
- unutarnja projektna temperatura (podrum):  $\vartheta_{int} = 15^\circ\text{C}$
- temperatura susjedne proizvodne hale:  $\vartheta_{adj} = 18^\circ\text{C}$
- broj izmjena zraka pri razlici tlaka 50Pa  $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$
- koeficijent zaštićenosti od vjetra:  $e_i = 0,03$
- korekcijski faktor za visinu:  $\varepsilon_i = 1$
- korekcijski faktor za vrijeme zagrijavanja zgrade lagane konstrukcije od 2h, uz pretpostavljeni pad temperature od 2K:  $f_{RH} = 9 \text{ W/m}^2$
- pretpostavka je da se podrum proizvodne hale ne grije
- stubište prema podrumu i kotlovnica se ne grije

Vrijednosti koeficijenata prolaza topline su dani u tablici 1. Proračuni su provedeni za svaku prostoriju u zgradi, međutim, one prostorije čiji su toplinski gubici ispod 300W će se tretirati kao negrijane iz razloga što će im temperatura zraka biti neznatno manja od tražene vrijednosti. Na temelju dobivenih toplinskih gubitaka se uz određenu sigurnost odabiru ogrjevnja tijela, a na temelju ukupnih toplinskih gubitaka generator topline. Rezultati proračuna za pojedine prostorije kao i odabrane unutarnje projektne temperature se nalaze u tablici 2.

<i>Oznaka</i>	<i>Namjena</i>	<i>Površina</i> <i>[m<sup>2</sup>]</i>	<i>Unutarnja temp.</i> <i>[°C]</i>	<i>Topl. gubici</i> <i>[W]</i>
0.1	Spremište	30,7	15	655
0.2	Skladište klima uređaja 2	83	15	894
0.3	Skladište klima uređaja 1	40	15	990
1.1	Poslovođa/skladištar	18,5	20	1260
1.3	Garderoba	31,5	20	1180
1.4	Sanitarije	20	20	576
1.5	Ured	30	20	1183
1.6	Radiona	66,6	20	1330
2.1	Vjetrobran	9	15	940
2.2	Prijem	29	20	953
2.3	Ured 1	21,5	20	1120
2.4	Sastanci	18,6	20	761
2.5	Ured 2	74,4	20	3651
2.6	Ured 3	23,5	20	1575
2.7	Hodnik	25,3	20	426
2.8	Caffe	13,6	20	300

*Tablica 2. Projektni toplinski gubici po prostorijama u zgradi*

Projektni toplinski gubici zgrade iznose  $\Phi_{ts}=17,8 \text{ kW}$ .

## 4 PROJEKTNO TOPLINSKO OPTEREĆENJE ZGRADE

Proračun projektnog toplinskog opterećenja je proveden prema metodologiji opisanoj u njemačkoj normi VDI 2078 [4]. Norma razlikuje unutarnje i vanjske toplinske dobitke koje je potrebno rashladnim sustavom odvesti iz određene prostorije kako bi se održala željena unutarnja temperatura zraka. Unutarnji toplinski dobici su posljedica prisutnosti ljudi, rada rasvjete te uređaja i aparata. Vanjski toplinski dobici su posljedica razlike temperatura vanjskog i unutarnjeg zraka (iako manjim dijelom zbog relativno male temperaturne razlike) te Sunčevog zračenja. U oba slučaja, razlikuju se konvektivni toplinski dobici koji predstavljaju trenutno toplinsko opterećenje određene prostorije te toplinski dobici zračenjem koji sa nekim vremenskim pomakom postaju toplinsko opterećenje. Koliki će biti vremenski pomak ovisi o masivnosti građevnih dijelova zgrade i namještaju. Naime, nakon što se zračenjem preda energija nekom predmetu, dolazi do efekta toplinske akumulacije, pri čemu tom predmetu raste temperatura. Masivnijim predmetima temperatura raste sporije od laganijih. Nakon što temperatura predmeta postane viša od temperature okolnog zraka, dio akumulirane topline se predaje konvektivno zraku. Norma VDI 2078 vremenski pomak uslijed akumulacije topline uzima u obzir preko faktora toplinskog opterećenja  $S$ , za unutarnje i vanjske toplinske dobitke, koji se množi sa maksimalnim opterećenjem. Faktor toplinskog opterećenja je ovisan o tipu prostorije kojih je prema normi 4: XL (veoma lagana), L (lagana), M (srednje masivna) i S (masivna). Također ovisi o vremenu početka toplinskog opterećenja te o proračunskom vremenu unutar kojeg su prisutni toplinski dobici. Ulazni podaci za proračun su sljedeći:

- unutarnja projektna temperatura:  $\vartheta_{int}=26^{\circ}\text{C}$
- vanjska projektna temperatura:  $\vartheta_e=32^{\circ}\text{C}$
- tip prostorije (zgrade):  $L$  (lagana)
- zona toplinskog opterećenja:  $zona\ 3$
- odavanje topline ljudskog tijela (latentna topline zanemarena):
  - bez fizičke aktivnosti ili lagana fizička aktivnost  $Q_{Pdry}=70\text{W}$
- nominalni intenzitet osvjjetljenja:  $E_N=500\text{lX}$
- specifična instalirana snaga rasvjete:  $p=20\text{W}/(\text{m}^2\text{kLx})$

- odavanje topline jednog računala:  $Q=200W$
- stupanj propuštanja ukupne energije kroz ostakljenje:  $g=0,8$
- konstrukcijska klasa zidova i krovova: *klasa 6*

Meteorološki podaci o kretanjima vanjske temperature za proračunski mjesec srpanj su dani u tablici A8 norme, a podaci o ukupnom solarnom zračenju u ovisnosti o dobu dana, orijentaciji zida (građevnog elementa) i tipu prostorije u tablici A16.

S obzirom da se maksimalno toplinsko opterećenje prostorije može pojaviti u različito vrijeme od maksimalnih toplinskih dobitaka (ozračenosti), potrebno je bilo proračun za pojedinu prostoriju ponoviti za nekoliko sati tokom dana. Radi što točnijeg određivanja toplinskog opterećenja, odabrani proračunski sati su 10, 13, 16 i 17. Maksimumi pojedinih prostorija mogu se pojaviti u različito vrijeme, zbog čega se vršno toplinsko opterećenje zgrade uzima kao maksimum suma toplinskih opterećenja pojedinih prostorija u pojedinom satu. U tablici 3. su prikazane dobivene vrijednosti toplinskog opterećenja za razmatrane prostorije u zgradi prema proračunskim satima (vrijednosti su zaokružene). Maksimalne vrijednosti su ispisane podebljano.

Oznaka	Namjena	Toplinsko opterećenje [W]			
		10h	13h	16h	17h
1.1	Poslovođa/skladištar	<b>1021</b>	752	720	420
1.3	Garderoba	126	258	<b>308</b>	211
1.5	Ured	775	1154	<b>1262</b>	980
1.6	Radiona	2136	2221	<b>2304</b>	1130
2.2	Prijem	<b>1592</b>	1250	1196	977
2.3	Ured 1	716	1198	<b>1301</b>	854
2.4	Sastanci	1010	1500	<b>1606</b>	710
2.5	Ured 2	2825	4162	<b>4687</b>	3758
2.6	Ured 3	806	902	<b>1141</b>	945
2.7	Hodnik	296	320	386	<b>398</b>
Ukupno:		11303	13717	<b>14931</b>	11237

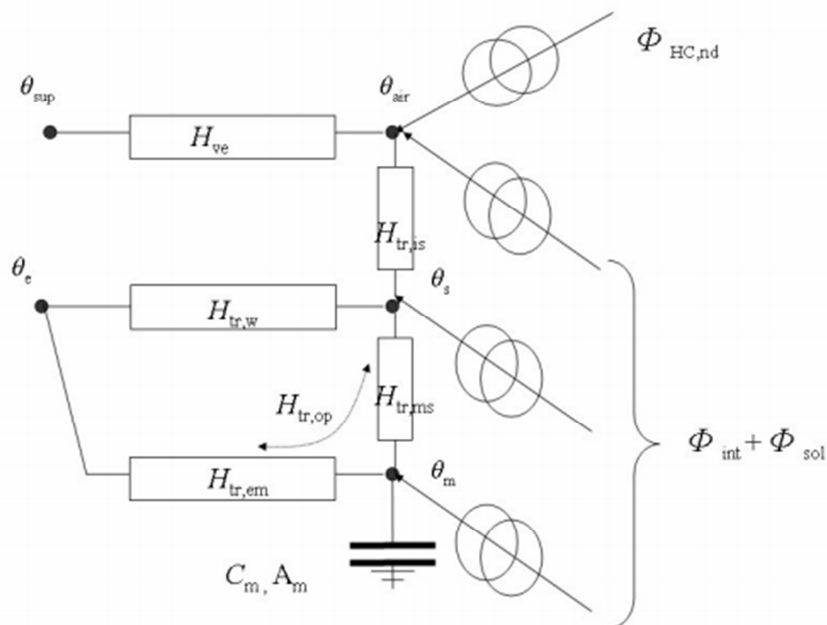
Tablica 3. Projektna toplinska opterećenja po prostorijama u zgradi

## 5 GODIŠNJE POTREBNA ENERGIJA ZA GRIJANJE I HLAĐENJE

Proračun godišnje potrebne energije za grijanje  $Q_{H,nd}$  i hlađenje  $Q_{C,nd}$  proveden je prema metodologiji opisanoj u normi HRN EN 13790 za 8760 sati u godini [5]. S obzirom da se vrijednosti unutarnjih temperatura prizemlja i podruma za vrijeme sezone grijanja razlikuju za više od  $4^{\circ}\text{C}$ , zgrada je podijeljena na dvije toplinske zone: podrum i prizemlje+kat.

Klimatski ulazni podaci za proračun su satne vanjske temperature i dozračene sunčeve energije tipične meteorološke godine dobivene iz Državnog hidrometeorološkog zavoda za grad Zagreb. Proračunski parametri, unutarnje projektne temperature i broj izmjena zraka kao i podaci o zgradi su navedeni u prethodnim poglavljima.

Satna metoda predstavlja dinamički proračun jer uzima u obzir efekt toplinske akumulacije u masi građevnih dijelova zgrade u sadašnjem i prethodnom satu, koristeći RC model za određivanje rezultirajuće temperature zraka i potrebne energije da se unutarnja temperatura zraka dovede do željene vrijednosti. Ta potrebna energija predstavlja energiju za grijanje ili hlađenje. Na slici 3 je prikazan 5R1C model na kojem je temeljena satna metoda.



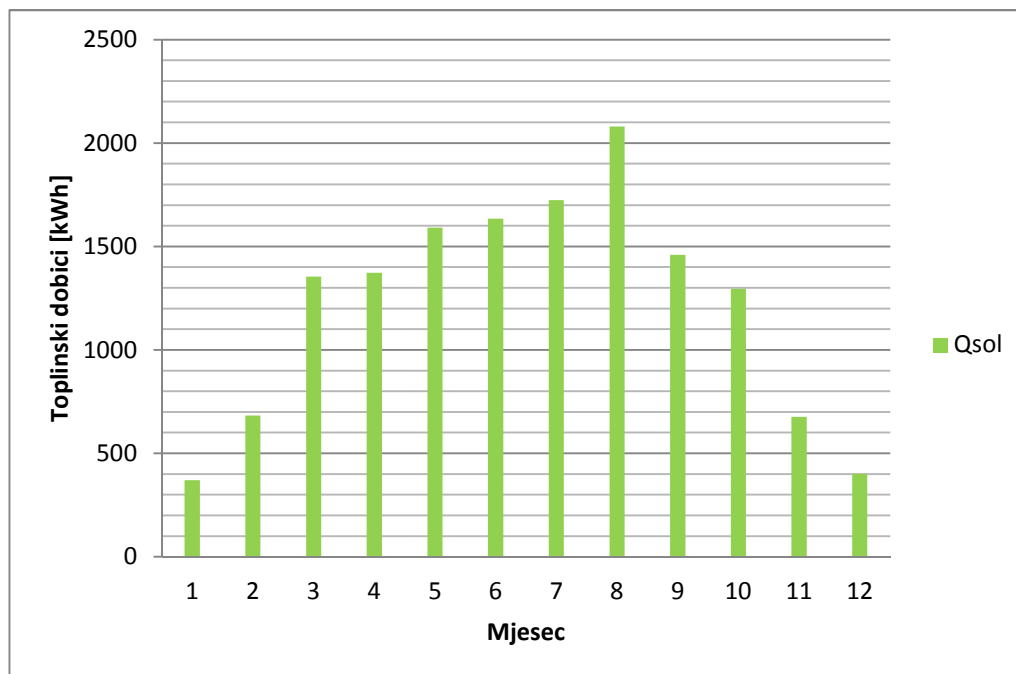
Slika 3. 5R1C model [5]

Vanjski zrak utječe na unutarnju temperaturu preko infiltracije i transmisije, s time da se kod transmisije razlikuje transmisija kroz prozirne i neprozirne građevne dijelove. Razlog tome je taj što neprozirni dijelovi zgrade imaju daleko veću sposobnost akumuliranja energije,

te slično kao kod određivanja toplinskog opterećenja, uzrokuje određeni vremenski pomak izmjene toplinske energije. Unutarnji i vanjski (solarni) dobici se raspoređuju prema tri karakteristične točke modela, pri čemu se točka  $m$  nalazi u sredini zida, točka  $s$  predstavlja površinu zida a točka  $air$  predstavlja zrak unutar prostorije. Sunčevo zračenje se ili akumulira u masi građevnog elementa ili obasjava njegovu površinu (unutarnju). Međutim i unutarnji dobici se djelomično akumuliraju u masi zida, a ostatak se konvektivno prenosi zraku.

## 5.1 Toplinski dobici

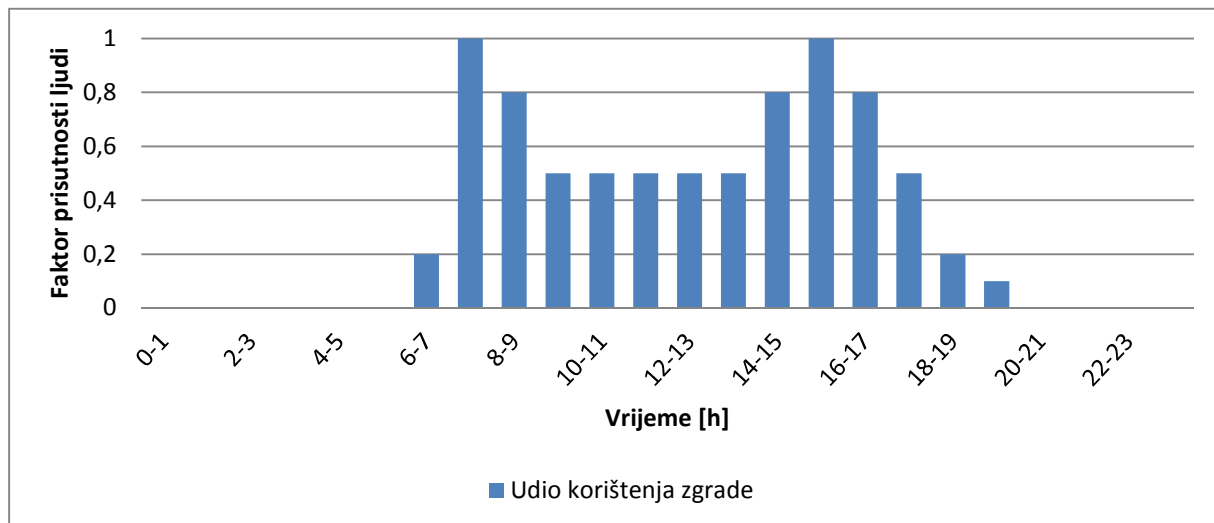
Za unutarnje dobite  $Q_{int}$  se pojednostavljeno uzima da iznose  $6W/m^2$  (nestambeni prostori) [5]. Solarni dobici  $Q_{sol}$  se računaju na temelju klimatskih podataka uzimajući u obzir orijentaciju i konfiguraciju zgrade. Pod konfiguracijom se podrazumijeva oblik, eventualna isturenja pojedinih dijelova koji utječu na zasjenjenje dijela površine građevnog elementa, kao i vrsta prozora. Proračun se provodi za svaku orijentaciju vanjskih zidova i prozora, međutim, kako se energija za grijanje i hlađenje određuje na razini cijele toplinske zone, gleda se suma svih zidova i prozora. Na slici 4 su prikazane kumulativne mjesečne vrijednosti toplinskih dobitaka od Sunca.



Slika 4. Mjesečne vrijednosti toplinskih dobitaka od Sunca

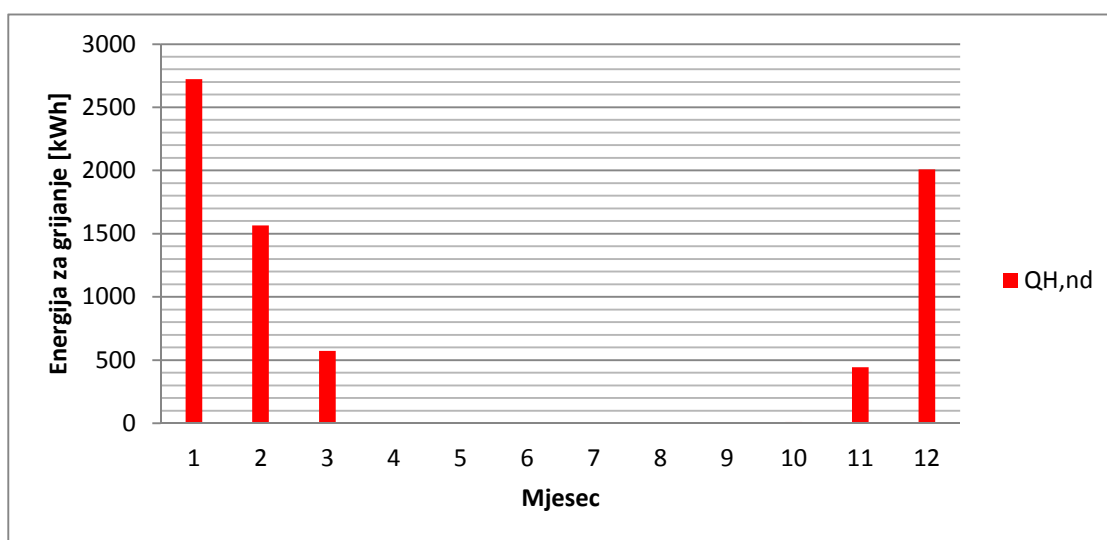
## 5.2 Potrebna toplinska energija za grijanje $Q_{H,nd}$

Prednost korištenja satne metode je taj što se može unijeti raspored korištenja zgrade koji tada omogućava da se točnije odredi potrebna toplinska energija. Naime, dok nema ljudi u zgradi, nije potrebno grijanje ili hlađenje, također ovisno o broju ljudi ovise i unutarnji toplinski dobici. Na slici 5. je prikazan pretpostavljeni raspored korištenja zgrade.



Slika 5. Raspored korištenja zgrade

Iako je zgrada podijeljena na dvije toplinske zone, vrijednosti potrebne toplinske energije za grijanje se razmatraju zajedno. Na slici 6 su prikazane mjesečne kumulativne vrijednosti toplinske energije za grijanje cijele zgrade.



Slika 6. Mjesečne vrijednosti toplinske energije za grijanje zgrade



Prema slici 6 se može vidjeti da sezona grijanja počinje u listopadu te da završava u travnju. Ukupno vrijeme rada sustava grijanja u tom periodu iznosi 1570 sati. Ukupna godišnje potrebna energija za grijanje zgrade iznosi:

$$Q_{H,nd}=7323,77 \text{ kWh/a}$$

Svedeno na jedinicu korisne površine, specifična potrebna toplinska energija je jednaka:

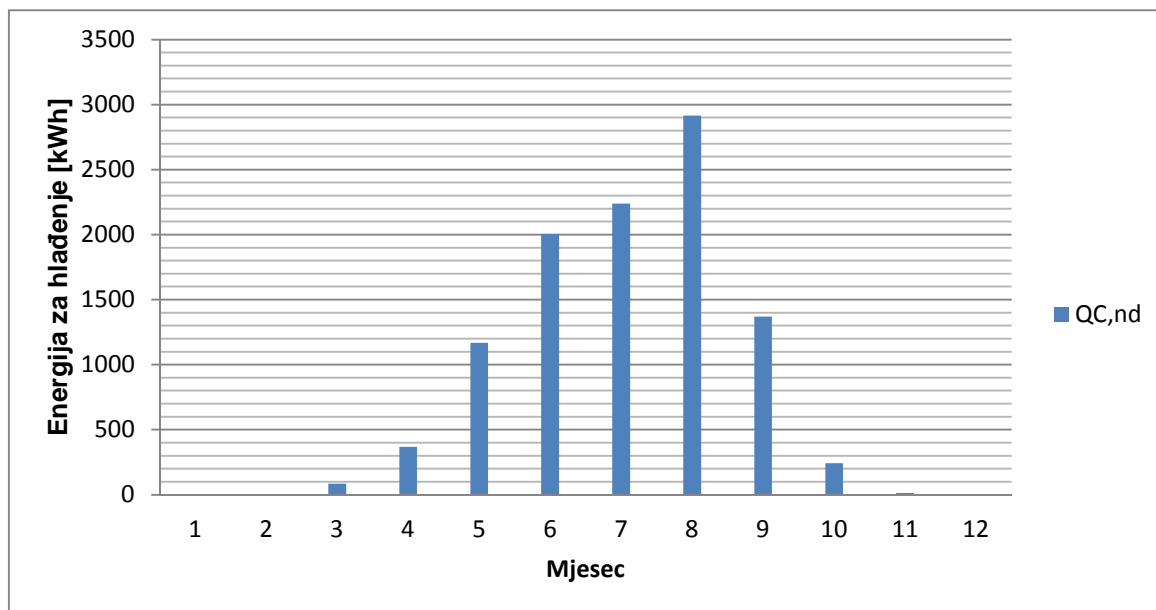
$$Q'_{H,nd}=12,2 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

U Pravilniku o energetske pregledima građevina i energetskom certificiranju zgrada (NN 81/12, 29/13, 78/13) je definirano 8 energetskih razreda prema količini energije potrebne za grijanje zgrade na razini godine, svedenu na jedinicu korisne površine. Prema tom pravilniku, predmetna zgrada spada u A+ razred jer troši ispod  $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  toplinske energije.

Razlozi tako maloj potrebnoj energiji za grijanje su sljedeći: iznimno dobra toplinska izolacija vanjskih zidova i krova; trećina zgrade se nalazi ukopana u zemlju, gdje su zbog termalne tromosti tla toplinski gubici prema tlu manji nego prema vanjskom zraku; na sjeveroistočni zid zgrade se nastavlja proizvodna hala koja se grije na  $18^\circ\text{C}$  tako da se toplinski gubici kroz taj zid mogu prilično zanemariti ( $\Delta\theta=2^\circ\text{C}$ ) u usporedbi toplinskim gubicima zidova prema vanjskom okolišu ( $\Delta\theta=35^\circ\text{C}$ ). Također, smanjenju potrebne energije za grijanje pridonose i toplinski dobici. Za vedrih dana, insolacija može biti dovoljna, osobito pri ovakvoj razini toplinske izolacije, da se pokriju toplinski gubici prema vanjskom okolišu.

### 5.3 Potrebna toplinska energija za hlađenje $Q_{C,nd}$

Godišnje potrebna toplinska energija za hlađenje ovisi o veličini vanjskih i unutarnjih toplinskih dobitaka te o vanjskoj temperaturi zraka (iako u manjoj mjeri zbog male temperaturne razlike). Rezultati su dobiveni istovremeno kao i rezultati potrebnih energija za grijanje na potpuno jednak način proračuna. Da je riječ o toplini koju je potrebno odvesti iz prostorije da bi se postigla tražena unutarnja temperatura ukazuje negativni predznak rezultata. Na slici 7 su prikazane kumulativne mjesečne vrijednosti potrebne toplinske energije za hlađenje zgrade. Druga toplinska zona, tj. podrum nije uključen u proračune jer se ne hladi već samo grije.



Slika 7. Mjesečne vrijednosti toplinske energije za hlađenje zgrade

Na slici je vidljivo da hlađenje započinje u travnju te traje čak do studenog, s ukupnim vremenom rada sustava od 2211 sati. Ukupna godišnje potrebna toplinska energija za hlađenje zgrade i njena vrijednost svedena na jedinicu korisne površine iznose:

$$Q_{C,nd}=10406,5 \text{ kWh/a}$$

$$Q'_{C,nd}=26,02 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

Korisna površina u ovom slučaju se ne uzima kao ukupna površina zgrade već samo površina prve toplinske zone koja se hladi. Razlog duljem vremenu rada sustava hlađenja a time i većoj utrošenoj energiji su upravo oni razlozi koji kod grijanja pridonose smanjenju energije za grijanje. Toplinska izolacija je u ovom slučaju manje značajna jer su temperaturne razlike u sezoni hlađenja manje nego u sezoni grijanja. Međutim, sve toplinske dobitke treba odvesti iz zgrade u onolikoj mjeri da se postigne tražena unutarnja temperatura zraka.

Toplinski gubici zgrade se u određenom vremenu pokrivaju u potpunosti sa toplinskim dobitcima. Međutim, ako temperatura vanjskog zraka u nekom kasnijem trenutku poraste uz nepromijenjene vrijednosti toplinskih dobitaka, da bi promatrana prostorija ostala u toplinskoj ravnoteži uz traženu temperaturu unutarnjeg zraka, potrebno je odvesti dio tih toplinskih dobitaka.

## 6 VENTILACIJA ZGRADE

Za ventilaciju zgrade se predviđa korištenje sustava prisilne ventilacije za pokrivanje higijenskog minimuma. Naime, cilj je da zgrada bude energetska čim učinkovitija uz održavanje čim više razine toplinske ugodnosti, u ovom slučaju konkretno, kvalitete zraka. Današnji prozori i vanjska vrata veoma dobro brtve te je stupanj infiltracije vanjskog zraka relativno mali. U kombinaciji sa dubokim prostorijama ( $>2.5x$  visina prostorije), prirodna ventilacija postaje nemoguća [6] jer se pri dnu prostorije javljaju stagnacijske zone. Rješenje u tom slučaju bi bilo otvaranje prozora koje također ima svoja ograničenja glede dimenzija prostorije. Međutim, takvo rješenje ima za posljedicu narušavanje toplinske ugodnosti jer lokalno uz prozor pada temperatura i raste brzina strujanja zraka. Uz to, takav pristup provjetravanju je i energetska neopravdan s obzirom da se energija uložena za zagrijavanje unutarnjeg zraka nepovratno predaje okolini. Navedeni problemi se najučinkovitije rješavaju primjenom ventilacijskog sustava. Uz pravilno smještene dobavne i odsisne otvore uklanjaju se eventualne stagnacijske zone. Vanjski zrak se dovodi u prostor pripremljen na traženo stanje ubacivanja, a za pripremu se, korištenjem sustava povrata topline, većinskim dijelom koristi toplinska energija istrošenog zraka. Naravno, korištenje ventilacijskih sustava ima i negativne strane a one se uglavnom očituju u pogledu investicijskih troškova i troškova održavanja, ali predstavlja i jedino ispravno rješenje u pogledu toplinske ugodnosti.

Podrumske prostorije zgrade nemaju vanjske otvore te se ventiliraju kako nebi došlo do ustajanja zraka. Još jedan razlog iz kojeg je ventilacija podruma poželjna je taj što se podrum koristi kao skladišni prostor klima uređaja. Naime, u slučaju puštanja freona, potrebna je ventilacija kako bi se spriječilo povećanje koncentracije štetnih tvari. Radiona u prizemlju je također specifična iz razloga što se koristi za zavarivanje. Takvi procesi zahtijevaju industrijsku ventilaciju. Kako industrijska ventilacija nije predmet ovog rada, pretpostavit će se korištenje odsisnih pomičnih hauba iznad svakog radnog mjesta uz prikladnu dobavu, a u sklopu ventilacije zgrade se za osobe koje borave u radioni osigurava ventilacijski minimum.

Ulazni podaci za određivanje potrebne količine zraka po prostorijama su sljedeći:

- preporučena dobava vanjskog zraka po osobi za disanje [7]:  $V_{o,p}=35 \text{ m}^3/(h \text{ osobi})$
- maksimalno očekivani broj ljudi po prostoriji – određen prema namjeni prostorije iz tlocrta zgrade

- broj izmjena zraka u podrumskim prostorijama  $0,5h^{-1}$
- površina podrumskih prostorija

U tablici 4 su navedene potrebne količine zraka u pojedinim prostorijama kao i očekivani broj ljudi.

Oznaka	Max. broj ljudi	Količina dobavnog zraka [ $m^3/h$ ]
0.1	-	50
0.2	-	140
0.3	-	70
1.1	2	70
1.3	15	530
1.5	5	180
1.6	10	350
2.2	5	200
2.3	7	250
2.4	16	560
2.5	17	600
2.7	7	250
		<b>3250</b>

Tablica 4. Potrebne količine dobavnog zraka po prostorijama

Ukupno potrebna količina vanjskog zraka za zgradu iznosi:  $V=3250 m^3/h$

Tri su sanitarna čvora u zgradi, jedan u prizemlju i dva na katu (muški i ženski WC) iz kojih je potrebno odsisavati zrak. Odabrani broj izmjena volumena zraka iznosi  $5h^{-1}$ . U tablici 5 su navedene količine zraka koje se odsisavaju iz pojedinog sanitarnog čvora (u vremenu korištenja sanitarija, ostatak vremena odsis ne radi).

Prostorija	Količina zraka [ $m^3/h$ ]
Sanitarije – prizemlje	320
WC muški – kat	150
WC ženski – kat	150

Tablica 5. Količine odsisanog zraka iz sanitarija

Temperatura ubacivanog zraka u prostoriju je jednaka temperaturi zraka u prostoriji jer je funkcija ventilacijskog sustava održavanje kvalitete unutarnjeg zraka. Za pokrivanje toplinskih gubitaka i toplinskog opterećenja se koriste sustavi grijanja i hlađenja. Za vrijeme sezone grijanja temperatura ubacivanog zraka je jednaka  $\vartheta_u=20^\circ\text{C}$ , dok se za sezonu hlađenja uzima  $\vartheta_u=26^\circ\text{C}$ . Pozornost u ovom slučaju privlači podrum. Naime, podrum je grijan na  $15^\circ\text{C}$  dok se ljeti ne hladi. Sustav ventilacije podruma je isti kao i za ostatak zgrade pa iz toga proizlazi da se se u podrumске prostorije ubacuje  $5^\circ\text{C}$  topliji zrak, zbog čega ventilacija ima funkciju parcijalnog pokrivanja toplinskih gubitaka, što je uzeto u obzir pri proračunu toplinskih gubitaka i proračunu godišnje potrebne toplinske energije za grijanje.

Potrebna toplinska energija da se dobavni zrak zagrije ili ohladi na traženu temperaturu ubacivanja ovisi o protoku zraka te o temperaturnoj razlici ispred i iza izmjenjivača topline. Ta temperaturna razlika može biti razlika između temperature unutarnje i projektne vanjske temperature zraka. Međutim, ako je u ventilacijskoj jedinici ugrađen neki sustav povrata topline, potrebna energija koju je potrebno isporučiti grijaču / hladnjaku znatno pada. Temperaturna razlika tada ovisi o konstrukciji uređaja za povrat topline.

Idući korak u poboljšanju energetske učinkovitosti sustava je primjena sustava sa varijabilnim protokom zraka. Naime, u slučaju da u zgradi ima jako malo ljudi, nije potrebno ubacivati nazivni volumen zraka već dovoljno zraka da se za takvu situaciju održi prikladna kvaliteta zraka. Način na koji se cijeli proces vodi je preko osjetnika ugljičnog dioksida smještenih u sobnim regulatorima koji upravljaju radom regulatora varijabilnog protoka. Kada koncentracija  $\text{CO}_2$  raste, regulator propušta više zraka, kada koncentracija pada, propušta manje zraka. Pri manjem protoku je potrebno manje ogrjevnе energije.

## 6.1 Odabir grijača i hladnjaka klima komore

Predviđena je ugradnja klima komore sa pločastim rekuperatorom. Ulazni parametri za definiranje pločastog rekuperatora te rezultirajuće snage grijača i hladnjaka su potrebna količina dobavnog zraka ( $V=3250\text{m}^3/\text{h}$ ) i temperatura ubacivanja ( $\vartheta_u=20^\circ\text{C}$ ) koji su već definirani. Bitne karakteristike odabranih komponenti proizvođača Proklime su sljedeće:

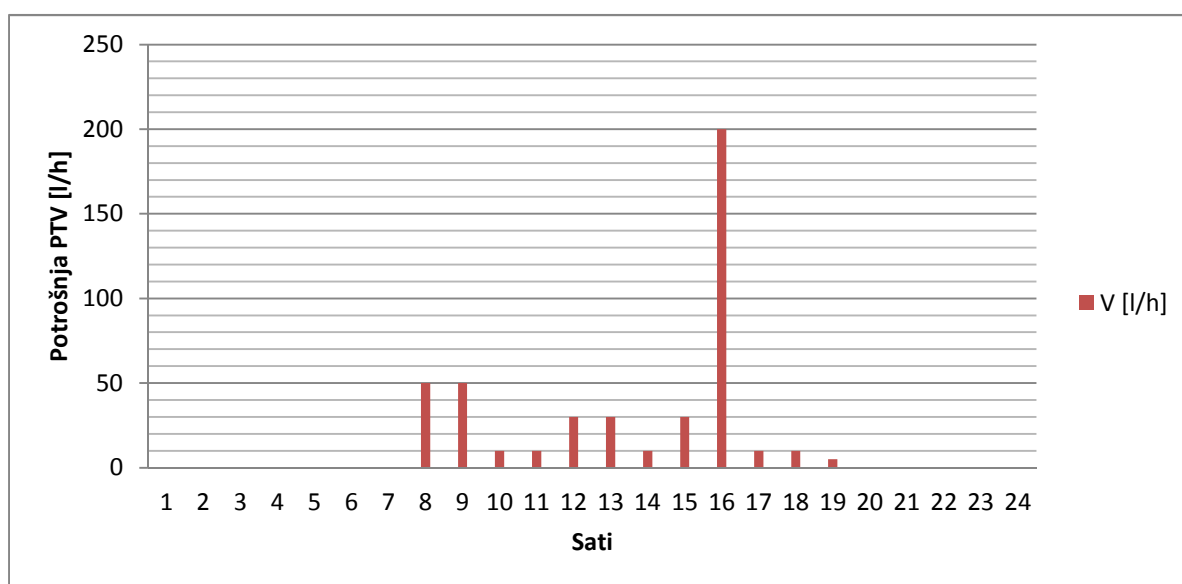
- stupanj povrata topline pločastog rekuperatora:  $\eta=80,8\%$
- snaga grijača klima komore:  $\Phi_{gr}=4,6\text{ kW}$
- snaga hladnjaka klima komore:  $\Phi_{hl}=1,72\text{ kW}$

## 7 POTROŠNA TOPLA VODA

S obzirom da se u zgradi nalaze 3 sanitarna čvora, od kojih su sanitarije u prizemlju opremljene sa 2 tuša, potrebno je predvidjeti potrošnju potrošne tople vode kako bi se mogao odabrati prikladan akumulacijski spremnik i grijač. Ulazne vrijednosti za procijenu potrošnje PTV-a su količine uzimanja vode prema izljevnim mjestima [8]:

- umivaonici za pranje ruku: 10l, vrijeme uzimanja 3min
- tuširanje: 50l, vrijeme uzimanja 10min

Pretpostavlja se da je potrošnja vode približno proporcionalna broju ljudi unutar zgrade u određenom trenutku, tj. rasporedu korištenja zgrade. Vršna potreba za toplom vodom se javlja oko 16h pri završetku radnog vremena kada se djelatnici spremaju i tuširaju. Pretpostavljeno je 4 tuširanja u tom periodu. Pretpostavljeni dnevni profil potrošnje potrošne tople vode je prikazan na slici 8.



Slika 8. Pretpostavljeni period potrošnje PTV

Maksimalna potrebna toplina za vršnu potrošnju iznosi približno 8 kW, za što se uz vrijeme zagrijavanja  $z_A=1h$  i vrijeme pogona  $z_B=2h$  odabiru sljedeće vrijednosti snage grijača i volumena spremnika PTV [6]:

- kapacitet grijača za zagrijavanje potrošne tople vode:  $\Phi_{gr}=6 kW$
- volumen spremnika PTV:  $V=150 l$

## 8 TEHNOEKONOMSKA ANALIZA

U ovom poglavlju će se razmatrati 3 varijante rješenja sustava grijanja, hlađenja i ventilacije predmetne zgrade. Cilj tehnoe ekonomske analize je odrediti koji sustav pruža optimalni odnos investicijskih i pogonskih troškova. Glavni pokazatelj isplativosti pojedinog rješenja je period povrata investicije. Onaj sustav sa najkraćim periodom povrata investicije će biti odabrani termotehnički sustav zgrade. Za potrebe određivanja pogonskih troškova su korištene norme HRN EN 15316 za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama te norma HRN EN 15243 za proračun potrebne energije za ventilaciju i sustav hlađenja. Investicijski troškovi su određeni sastavljanjem troškovnika potrebne opreme, materijala i montaže.

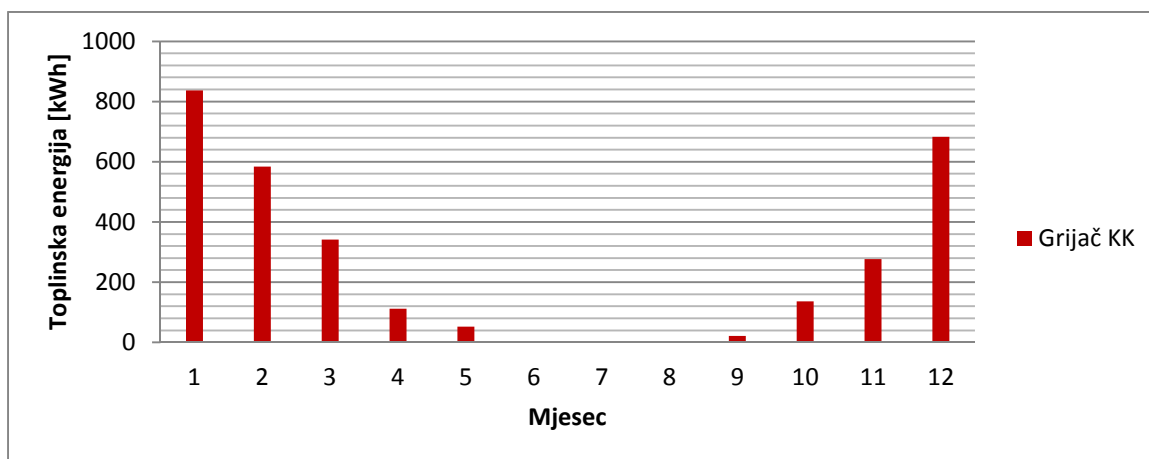
Prvi razmatrani sustav je kotao na pelete za grijanje zgrade i pripremu potrošne tople vode uz VRV sustav hlađenja. Drugi sustav je visokoučinski plinski kondenzacijski kotao u kombinaciji sa rashladnikom vode sa zrakom hlađenim kondenzatorom. Treći sustav je geotermalna dizalica topline podzemna voda / voda koja se koristi za grijanje i hlađenje zgrade te pripremu potrošne tople vode uz eventulani pomoćni električni grijač.

### 8.1 Određivanje potrebne energije za ventilaciju

S obzirom da je sustav ventilacije isti za sve tri razmatrane varijante rješenje, odnosno, mijenja se samo tip i veličina grijača/hladnjaka prvo će se odrediti potrebna energija za ventilaciju. Rezultati proračuna su ulazne veličine za određivanje energijskih zahtjeva cjelokupnog termotehničkog sustava jer predstavljaju energiju koju je potrebno isporučiti dobavnom zraku. U poglavlju 6 su određeni parametri ventilacije u pogledu potrebne količine dobavnog zraka, karakteristika pločastog rekuperatora, grijača i hladnjaka te tražene temperature ubacivanja zraka u prostor. Proračun je proveden prema normi HRN EN 15243 za ventilaciju na satnoj razini [9]. Klimatski ulazni podaci za proračun su podaci o relativnoj vlažnosti zraka i vanjskoj temperaturi za svaki sat u godini dobiveni iz Državnog hidrometeorološkog zavoda.

Odabrana je shema 8 iz Algoritma za proračun toplinske energije za ventilaciju i klimatizaciju koja predstavlja raspored komponenti klima komore. Kako se ventilacija ne koristi za pokrivanje toplinskih gubitaka i opterećenja, veličina  $\Delta h_{opt}$ , tj. potrebna razlika entalpija uslijed toplinskih gubitaka i toplinskog opterećenja je zanemarena.

Toplinska energija koju grijač mora isporučiti zraku, odnosno hladnjak odvesti iz zraka da se bi se postigli traženi toplinski parametri ventilacije ovise i o toplinskim gubicima razvodnih kanala i klima komore te njihovom propuštanju uz uračunavanje pomoćne energije. Naime, da su kanali i klima komora savršeno izolirani i zabrtvljeni, dovoljno bi bilo zagrijati ili ohladiti zrak sa vanjske temperature na temperaturu ubacivanja. Zbog propuštanja je količina zraka koja uđe u klima komoru veća od količine zraka koja se ubaci u prostoriju pa je potrebno pripremiti više zraka. Na slici 9 su prikazane mjesečne vrijednosti toplinske energije koju grijač isporučuje dobavnom zraku.

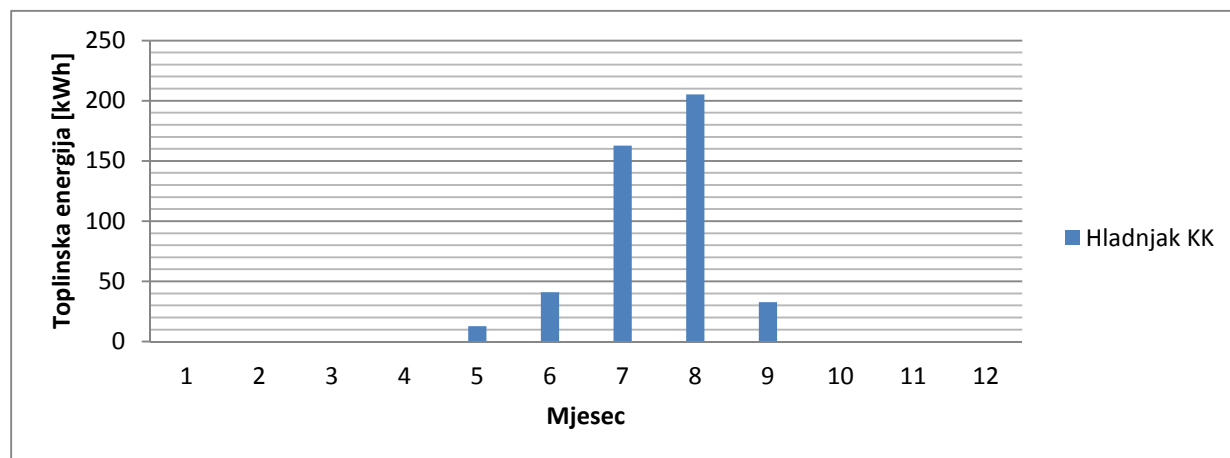


Slika 9. Mjesečne vrijednosti isporučene toplinske energije dobavnom zraku

Godišnje isporučena toplinska energija preko grijača klima komore iznosi:

$$Q_{H,AHU}=3043,3 \text{ kWh}$$

Na slici 10 su prikazane mjesečne vrijednosti toplinske energije koju hladnjak klima komore preuzme iz vanjskog zraka.



Slika 10. Mjesečne vrijednosti preuzete toplinske energije iz dobavnog zraka



Godišnje preuzeta toplinska energija preko hladnjaka iz dobavnog zraka iznosi:

$$Q_{H,AHU}=454,5 \text{ kWh}$$

Godišnje potrebna električna energija za pogon dobavnog i odsisnog ventilatora iznosi:

$$E_{ve,el}=2678,27 \text{ kWh}$$

## 8.2 Varijanta rješenja GViK sustava br.:1

### 8.2.1 Opis sustava

Za grijanje zgrade, pripremu dobavnog zraka za ventilaciju te pripremu potrošne tople vode koristi se kotao na pelete (temperaturni režim 80/60°C). Potrebna snaga kotla je određena na temelju zbroja ukupnih toplinskih gubitaka, potrebne snage grijača klima komore te snage grijača spremnika PTV. Uz faktor sigurnosti jednak 1,2 nazivna snaga kotla mora biti veća ili jednaka sljedećoj vrijednosti:

$$\Phi_k=35,5 \text{ kW}$$

Odabrani podsustav predaje topline prostorijama je podno grijanje (mokri sustav), razvedeno po cijeloj zgradi, s time da se za podrumске prostorije i radionu u prizemlju koristi industrijsko podno grijanje. Razlog tome je veća mehanička otpornost poda kod industrijskog podnog grijanja. Kod standardnog podnog grijanja je debljina cementnog estriha kojim se pokrivaju cijevi obično oko 45mm što bi prilikom pada težeg predmeta ili prelaskom viličara preko takve podloge uzrokovalo eventualne lomove. Regulacija učina po prostorijama se vodi preko termostata koji zatvara ili otvara termostatski ventil pomoću termopogona na polazu petlje na razdjelniku. Dakle, riječ je o P regulatoru. Cijevi koje povezuju razdjelne ormariće petlji podnog grijanja osim polaznog dijela u kotlovnici koja se ne grije, vode se kroz grijani prostor te su na ukupnoj duljini toplinski izolirane. Temperaturni režim ogrjevnog medija podnog grijanja je 45/40°C (niskotemperaturni razvod) a ostvaruje se pomoću miješajućeg ventila iza razdjelnika kotlovske ogrjevne vode u kotlovnici. Cirkulacijski krug podnog grijanja ima vlastitu frekventno reguliranu pumpu.

Temperaturni režim cirkulacijskog kruga grijača klima komore iznosi 80/60°C, a regulaciju grijača vodi automatika klima komore u ovisnosti o temperaturi zraka na izlazu iz grijača te volumnom protoku dobavnog zraka. Cirkulacijski krug je opremljen sa frekventno reguliranom pumpom koji cirkulira ogrjevnu vodu prema klima komori, a regulacija učina se vrši pomoću troputnog miješajućeg ventila u sklopu klima komore koja je također opremljena vlastitom pumpom.

Grijač spremnika PTV je spojen na zasebni cirkulacijski krug, a cirkulaciju omogućuje obična on/off pumpa regulirana na temelju temperature vode u spremniku.

Hlađenje zgrade se odvija pomoću VRV sustava hlađenja. Vanjska jedinica smještena na krovu zgrade je povezana sa unutarnjim jedinicama kapaciteta koji odgovara rezultatima proračuna toplinskog opterećenja. Klima komora ima vlastiti DX isparivač spojen na vanjsku jedinicu, koji zajedno dolaze u isporuci klima komore. Sustav hlađenja mora imati kapacitet hlađenja veći ili jednak sljedećoj vrijednosti:

$$\Phi_C=16,3 \text{ kW}$$

### 8.2.2 Određivanje energijskih zahtjeva termotehničkog sustava - grijanje

Na temelju osnovnih informacija o sustavu danih u opisu sustava, pomoću norme HRN EN 15316 određuje se toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu grijanja [10]. Prema normi, sustav grijanja je podijeljen na podsustav predaje topline, podsustav razvoda te podsustav proizvodnje toplinske energije. Shematski je to prikazano na slici 11. Na temelju potrebne isporučene toplinske energije za grijanje zgrade, određene prema HRN EN 13790 se u ovisnosti o karakteristikama termotehničkog sustava određuju gubici sustava, pomoćne energije potrebne za ispravan rad sustava te količina energije koju je potrebno isporučiti generatoru topline, u ovom slučaju kotlu na pelete u obliku goriva (peleta).

Proračun je proveden prema metodologiji opisanoj u normi HRN EN 15316 na satnoj razini. Ulazni podaci za proračun su satno potrebna toplinska energija za grijanje, podaci o karakteristikama sustava dani u opisu prema kojima se uzimaju pripadajuće proračunske vrijednosti dane u normi te podaci o pripremi PTV. Na slici 12. su prikazane mjesečne vrijednosti toplinske energije koju je potrebno isporučiti kotlu kroz pelete, za grijanje, ventilaciju i pripremu PTV. Toplinska energija koju je godišnje potrebno isporučiti kotlu iznosi:

$$Q_{HW,gen,in}=28729 \text{ kWh/a}$$

Ukupno godišnje isporučena energija kotlu (gorivo+el.energija) i pomoćnim uređajima (el.energija) u sklopu sustava grijanja i pripreme PTV iznosi:

$$E_{del}=29090,7 \text{ kWh/a}$$

Godišnja primarna energija za razmatrani sustav iznosi:

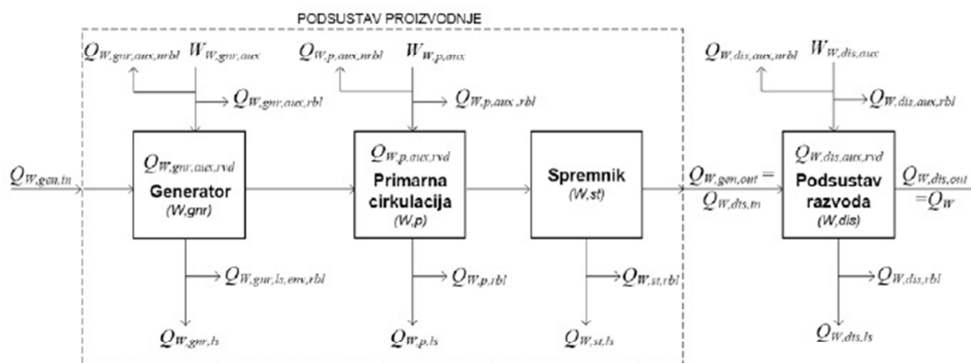
$$E_{prim}=4713,2 \text{ kWh}$$

Uzeti faktori primarne energije [11]:

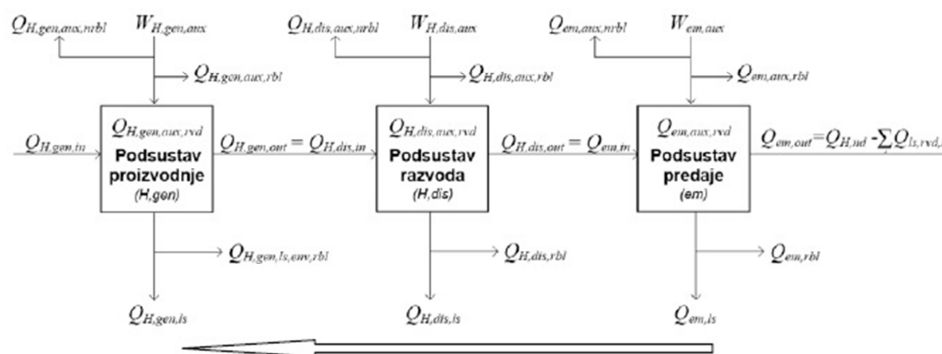
$$f_{p,peleti}=0,154$$

$$f_{p,el}=0,798$$

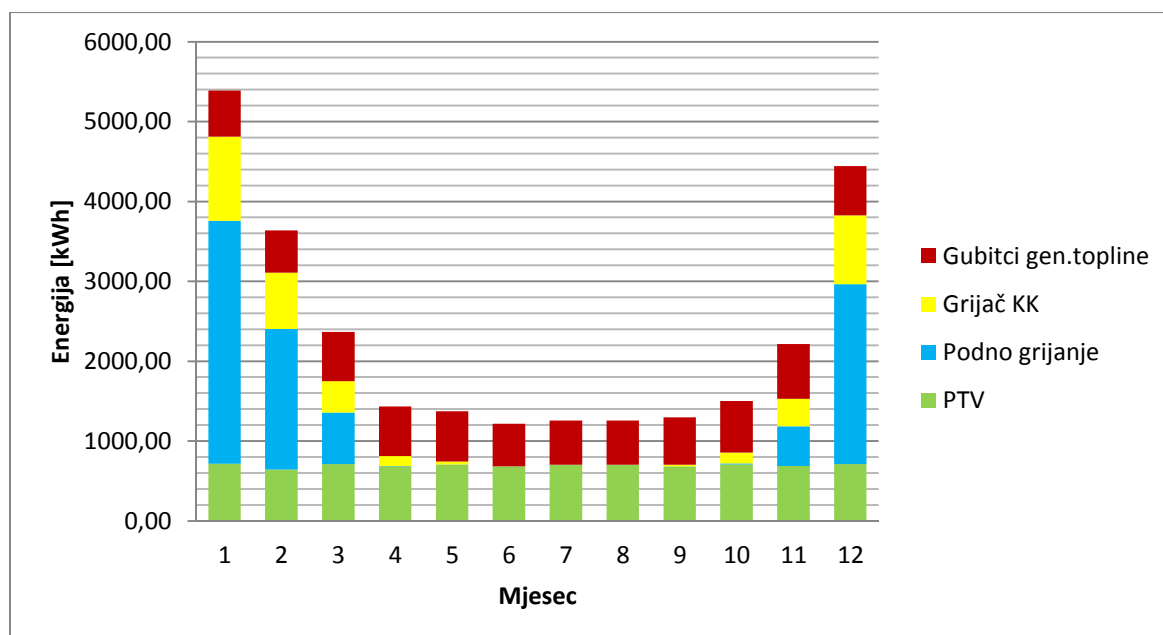
## PRIPREMA PTV-a



## GRIJANJE



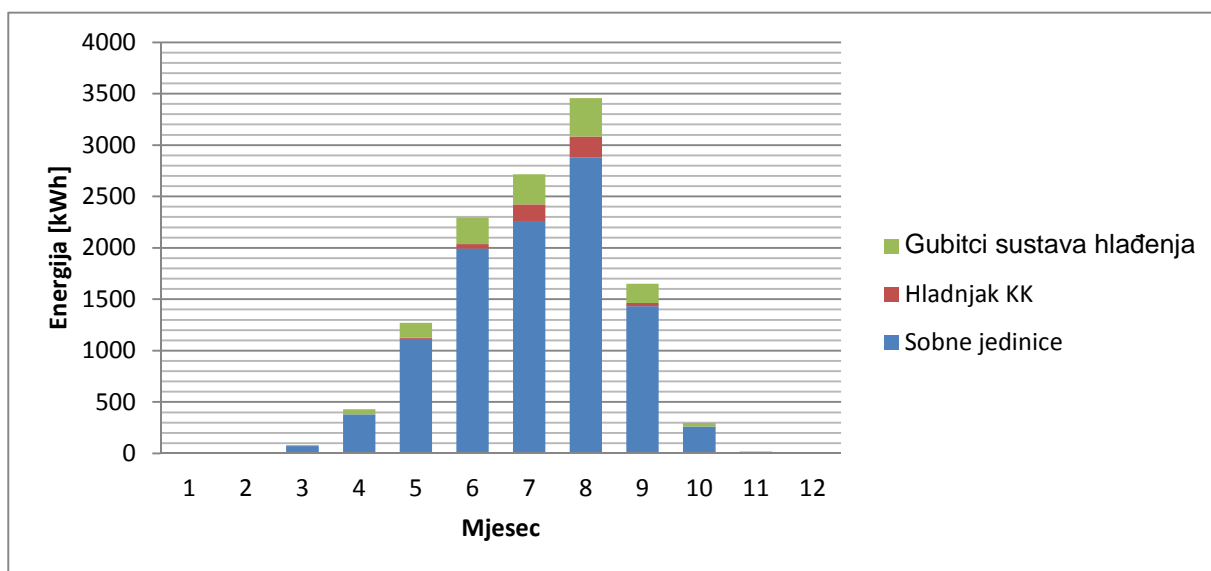
Slika 11. Podjela termotehničkog sustava grijanja i pripreme PTV na podsustave s prikazom ulazno/izlaznih veličina [10]



Slika 12. Mjesečne vrijednosti isporučene toplinske energije kotlu na pelete

### 8.2.3 Određivanje energijskih zahtjeva termotehničkog sustava – hlađenje

Proračun potrebne toplinske energije za hlađenje zgrade je provedena prema normi HRN EN 15243 na satnoj razini [9]. Ulazni podaci za proračun su satne vrijednosti toplinskih energija za hlađenje dobivene prema HRN EN 13790 te karakteristike komponenti VRV sustava hlađenja. Utjecaj pojedinih komponenti na ukupnu potrebnu energiju se uzima u obzir preko vrijednosti navedenih u normi za direktno isparavanje. Na slici 13 su prikazane mjesečne vrijednosti odvedenog toplinskog opterećenja iz zgrade i dobavnog zraka za ventilaciju sa prikazanim udjelima pojedinih komponenata u ukupnoj energiji.



Slika 13. Mjesečne vrijednosti toplinske energije odvedene na vanjskoj jedinici VRV uređaja  
 Godišnja vrijednost odvedene energije iz zraka prostorije i dobavnog zraka uz toplinske dobitke pojedinih komponenti sustava hlađenja iznosi:

$$Q_{c,gen,out}=12213,88 kWh$$

Za pogon uređaja za hlađenje je korištena električna energija čija se godišnja vrijednost određuje na osnovi faktora hlađenja (EER – prema normi) te preko faktora parcijalnog opterećenja  $PLV_A$  (također prema normi). Prema tome godišnje utrošena energija za pogon sustava hlađenja iznosi:

$$E_{C,gen,del,el}=2884,03 kWh$$

Godišnja primarna energija je jednaka:

$$E_{prim}=2301,46 kWh$$

### 8.2.4 Utjecaj rada GViK sustava na okoliš

Utjecaj rada kotla na pelete, VRV sustava hlađenja, ventilatora klima komore te cirkulacijskih pumpi i regulacije na okoliš se prikazuje preko godišnje emisije CO<sub>2</sub>. Za proračun se koriste faktori pretvorbe koji određuju koliko se ugljičnog dioksida emitira u okoliš po jedinici utrošene energije. Primjerice, peleti su prerađena biomasa što znači da je prilikom prerade utrošena energija za čiju je proizvodnju emitirana određena količina CO<sub>2</sub>. Porijeklo te energije može biti i iz nekog enegetskog sustava koji koristi obnovljive izvore. U tom slučaju nema emisije CO<sub>2</sub>. U faktorima pretvora je uračunato koji udio energije dolazi iz obnovljivih izvora a koji dio iz neobnovljivih i s kojom učinkovitošću. Sama biomasa je CO<sub>2</sub> neutralna što znači da je tokom rasta te biomase apsorbirana ista količina CO<sub>2</sub> kolika je emitirana natrag u okoliš prilikom izgaranja.

Korišteni su faktori pretvorbe za emisiju CO<sub>2</sub> [11]:

$$C_{p,peleti}=0,034 \text{ kg/kWh}$$

$$C_{p,el}=0,235 \text{ kg/kWh}$$

Godišnja emisija CO<sub>2</sub> za cjelokupni GViK sustav iznosi:

$$CO_2=2368,9 \text{ kg}$$

Od čega izgaranje biomase čini 41,23% ukupne emisije CO<sub>2</sub>, a ostatak čini utrošena električna energija.

### 8.2.5 Pogonski troškovi

U tablici 6 je dan pregledan ispis utrošenih energija po vrsti i sustavu uz napomenu da iako je za ventilaciju dobavni zrak grijan i hlađen, toplinske energije za grijanje i hlađenje su uračunate u sustavu grijanja i sustavu hlađenja.

	<i>grijanje [kWh]</i>	<i>hlađenje [kWh]</i>	<i>ventilacija [kWh]</i>
peleti	28729	-	-
el. energija	361,7	2884,03	2678,27

Tablica 6. Pregled utrošenih energija po vrsti i sustavu – 1. varijanta rješenja

Cijene po jedinici energije i rezultirajući pogonski troškovi su prikazani u tablici 7.

	<i>ukupno [kWh]</i>	<i>cijena [kn/kWh]</i>	<i>pogonski trošak [kn]</i>
peleti	28729	0,306	<b>8.791,07</b>
el. energija	5924	0,95	<b>5.627,8</b>
			<b>14.418,87</b>

Tablica 7. Procijenjeni pogonski troškovi – 1.varijanta rješenja

## 8.2.6 Investicijski troškovi

Za procijenu investicijskih troškova je izrađen troškovnik potrebne opreme, materijala i montaže. Za određivanje opreme i materijala bilo je potrebno grubo dimenzionirati opremu.

A) Sustav grijanja					
Rbr	Opis	Mjera	Kol	Jed. cijena	Ukupno
1	Kotao na pelete, toplinskog učina $Q=36\text{kW}$ , temp. režima $80/60^{\circ}\text{C}$ , uključivo sa kotlovskom automatikom, spremnikom za pelete te kotlovskom pumpom, tipa kao Centrometal PelTec 36	kom	1	26.800,00 kn	26.800,00 kn
2	Kotlovska automatika Cm sa ugrađenim regulatorom Elfatherm E8.0634	kom	1	2.558,00 kn	2.558,00 kn
3	Pumpa kruga podnog grijanja, sljedećih radnih karakteristika: $\Delta p=14,2\text{ kPa}$ ; $V=3,3\text{m}^3/\text{h}$				
	tip kao Grunfos UPS 25-60 180	kom	1	2.130,00 kn	2.130,00 kn
4	Pumpa kruga grijača KK, sljedećih radnih karakteristika: $\Delta p=13,2\text{ kPa}$ ; $V=1,7\text{m}^3/\text{h}$				
	tip kao Grunfos UPS 25-40 180	kom	1	1.770,00 kn	1.770,00 kn
5	Pumpa grijača spremnika PTV, sljedećih karakteristika: $\Delta p=13,2\text{ kPa}$ ; $V=1,7\text{m}^3/\text{h}$				
	tip kao Grunfos UPS 25-40 180	kom	1	1.770,00 kn	1.770,00 kn
6	Troputni miješajući ventili kruga ventilokonvektora i podnog grijanja, proizvodi kao VXG44.32-16 i VXG44.15-1,6, u kompletu sa motornim pogonom	kompl	1	2.500,00 kn	2.500,00 kn
7	Razdjelnik za 3 kruga grijanja	kom	2	1.993,00 kn	3.986,00 kn
8	Membranska ekspanzijska posuda $V=24\text{L}$ tip kao ELBI 25L	kom	1	202,00 kn	202,00 kn
9	Spremnik PTV, tip kao Centrometal TB150	kom	1	3.960,00 kn	3.960,00 kn
10	Bakrene cijevi za povezivanje razdjelnih ormarića podnog grijanja sa kotlovnicom, uključivo sa svim potrebnim fitinzima.				
	Cu $\Phi 42 \times 2\text{mm}$	m	21	127,00 kn	2.667,00 kn
	Cu $\Phi 35 \times 2\text{mm}$	m	7	74,00 kn	518,00 kn
	Cu $\Phi 28 \times 1\text{mm}$	m	37	52,00 kn	1.924,00 kn
	Cu $\Phi 22 \times 1\text{mm}$	m	7	42,00 kn	294,00 kn
11	PE-X cijevi za podno grijanje $\Phi 20 \times 2\text{ mm}$	m	1780	6,00 kn	10.680,00 kn
12	Razdjelnici sa podžbuknim ormarićima za krugove podnog grijanja sa termostatskim ventilima i pokazivačima protoka u polaznom vodu				

	tip kao TTO Intera 69	kom	4	540,00 kn	2.160,00 kn
13	Sobni termostati, žičani za regulaciju termopogona krugova podnog grijanja	kom	15	110,00 kn	1.650,00 kn
14	Montaža gore navedene opreme i materijala do potpune ispravnosti te puštanje u pogon	kompl	1	25.400,00 kn	25.400,00 kn
				Ukupno:	90.969,00 kn
<b>B) Sustav hlađenja</b>					
1	VRV sustav hlađenja sa 10 unutarnjih jedinica povezanih na vanjsku jedinicu, ukupnog rashladnog kapaciteta Q=21,1 kW. U cijenu uključena regulacija, cijevi i fitinzi	kompl	1	92.698,00 kn	92.698,00 kn
2	Montaža VRV sustava do potpune ispravnosti te puštanje u pogon	kompl	1	21.540,00 kn	21.540,00 kn
				Ukupno:	114.238,00 kn
<b>C) Ventilacijski sustav</b>					
1	Klima komora za vanjsku ugradnju sa ugrađenim pločastim rekuperatorom, grijačem zraka Q=5,5 kW te DX hladnjakom Q=1,8 kW u kompletu sa regulacijom. V=3300m <sup>3</sup> /h -dobava/odsis proizvod kao Proklima ProkPAKT	kom	1	88.440,00 kn	88.440,00 kn
2	Spiro falcani ventilacijski kanali (uključivo sa fazonskim komadima), sljedećih dimenzija:				
	Φ100	m	40	35,00 kn	1.400,00 kn
	Φ160	m	46	55,00 kn	2.530,00 kn
	Φ200	m	25	75,00 kn	1.875,00 kn
	Φ250	m	37	86,00 kn	3.182,00 kn
	Φ300	m	19	114,00 kn	2.166,00 kn
	Φ315	m	16	116,00 kn	1.856,00 kn
	Φ355	m	18	120,00 kn	2.160,00 kn
	Φ450	m	7	165,00 kn	1.155,00 kn
3	Regulatori varijabilnog protoka, cilindrični, proizvod kao Klimaoprema RVP-C u kompletu sa sobnim regulatorima	kompl	1	66.000,00 kn	66.000,00 kn
4	Stropni distributeri sa priključnim kutijama, proizvod kao Klimaoprema DK	kompl	1	6.500,00 kn	6.500,00 kn
5	Dobavne rešetke za podrumne prostorije, proizvod kao Klimaoprema OAB	kompl	1	750,00 kn	750,00 kn
6	Odsisne rešetke, proizvod kao Klimaoprema OAB	kompl	1	3.500,00 kn	3.500,00 kn
7	Montaža navedene opreme i materijala do potpune ispravnosti, te puštanje u pogon.	kompl	1	24.520,00 kn	24.520,00 kn
				Ukupno:	206.034,00 kn
				<b>UKUPNO:</b>	<b>411.241,00 kn</b>

### 8.3 Varijanta rješenja GViK sustava br.:2

#### 8.3.1 Opis sustava

Za potrebe grijanja prostorija, pripremu PTV te grijanje dobavnog zraka za ventilaciju zgrade, odabran je plinski kondenzacijski kotao (temperaturni režim u grijanju 50/30°C, temperaturni režim u grijanju PTV 80/60°C). Potrebna snaga plinskog kotla je jednaka snazi kotla na pelete jer je određena na temelju toplinskih gubitaka zgrade i potrebnih kapaciteta grijača klima komore i spremnika PTV te iznosi:  $\Phi_k=35,5 \text{ kW}$ .

Odabrana ogrjevna tijela za grijanje prizemlja i kata su dvocjevni ventilokonvektori koji su odabrani prema rezultatima proračuna projektnih toplinskih gubitaka. Regulacija učina kapaciteta ventilokonvektora u prostoriji se vrši pomoću sobnog termostata koji šalje signal termopogonu termostatskog ventila ako je postignuta tražena temperatura zraka. Termostatski ventil je izveden kao troputni, tako da pušta ogrjevnju vodu ili prema ventilokonvektoru ili natrag u povrat ako nema potrebe za grijanjem. Dakle, riječ je o proporcionalnoj regulaciji. Grijanje podruma je izvedeno kao industrijsko podno grijanje te je spojeno na zasebni cirkulacijski krug.

Regulacija kotla daje prednost pripremi PTV. Naime, kako je temperaturni režim plinskog kondenzacijskog kotla u grijanju 50/30°C to je nedovoljno za pripremu potrošne tople vode. Kada temperatura unutar spremnika padne ispod neke postavne vrijednosti, regulacija izbacuje rad kotla iz kondenzacijskom moda i povećava temperaturni režim na 80/60°C dok se temperatura vode u spremniku ne poveća na traženu vrijednost.

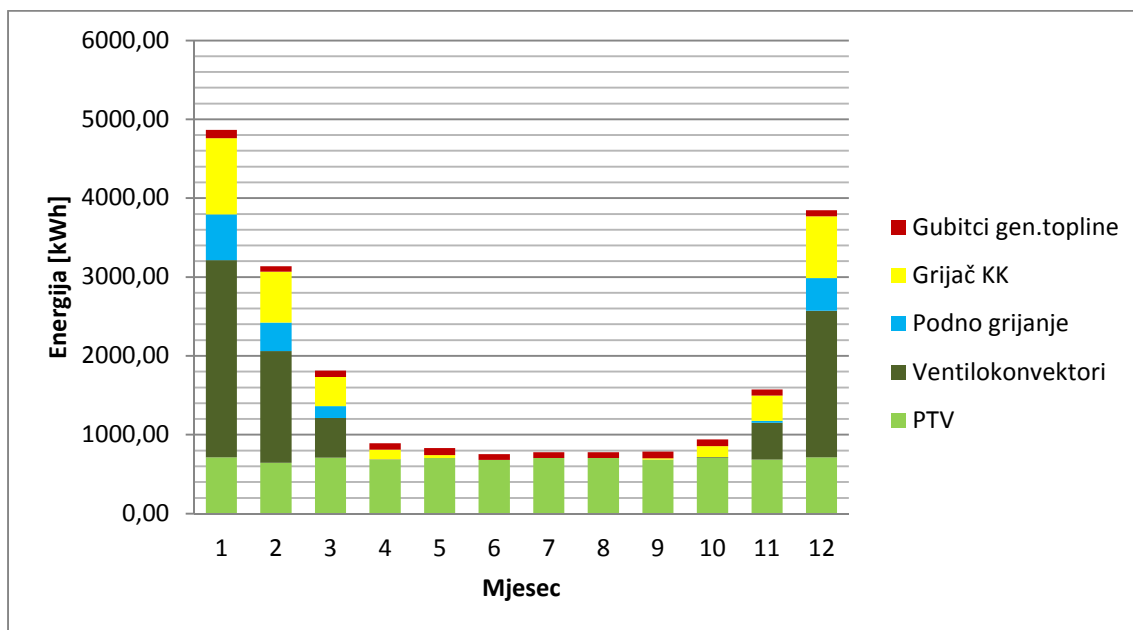
Cirkulacijski krug klima komore je slično izveden kao u prethodnoj varijanti sustava. Razlika je u dimenziji cjevovoda zbog drugačijeg temperaturnog režima. Grijač u klima komori ima i funkciju hladnjaka jer se koristi dvocjevni sustav razvoda medija.

Hlađenje zgrade se vrši pomoću rashladnika vode sa zrakom hlađenim kondenzatorom smještenim na krovu. Kako se hlade samo prostorije prizemlja i kata, te dobavni zrak u klima komori, spajanje razvoda rashladnika vode je izvedeno tako da se cijevi rashladne vode vežu sa polazom krugova ventilokonvektora i grijača/hladnjaka klima komore iznad nepovratnog ventila smještenog iznad cirkulacijskih pumpi za grijanje. Sustav hlađenja mora imati isti kapacitet kao i sustav hlađenja u prethodnoj varijanti rješenja, odnosno:  $\Phi_C=16,3 \text{ kW}$ .



### 8.3.2 Određivanje energijskih zahtjeva termotehničkog sustava – grijanje

Postupak određivanja toplinske energije koju je gorivom potrebno isporučiti u sustav grijanja je sličan postupku prema točki 8.1.2. s razlikom da se koristi drugačiji generator topline i ogrjevnna tijela [10]. Na slici 14 su prikazane mjesečne vrijednosti isporučene toplinske energije kotlu sa prikazanom podjelom toplina prema pojedinom podsustavu.



Slika 14. Mjesečne vrijednosti isporučene toplinske energije plinskom kondenzacijskom kotlu

Godišnja toplinska energija koju je potrebno isporučiti kotlu iznosi:

$$Q_{HW,gen,in}=20994 \text{ kWh/a}$$

Ukupno godišnje isporučena energija kotlu (gorivo+el.energija) i pomoćnim uređajima (el.energija) u sklopu sustava grijanja i pripreme PTV iznosi:

$$E_{del}=21667,7 \text{ kWh/a}$$

Godišnja primarna energija za razmatrani sustav iznosi:

$$E_{prim}=23526 \text{ kWh}$$

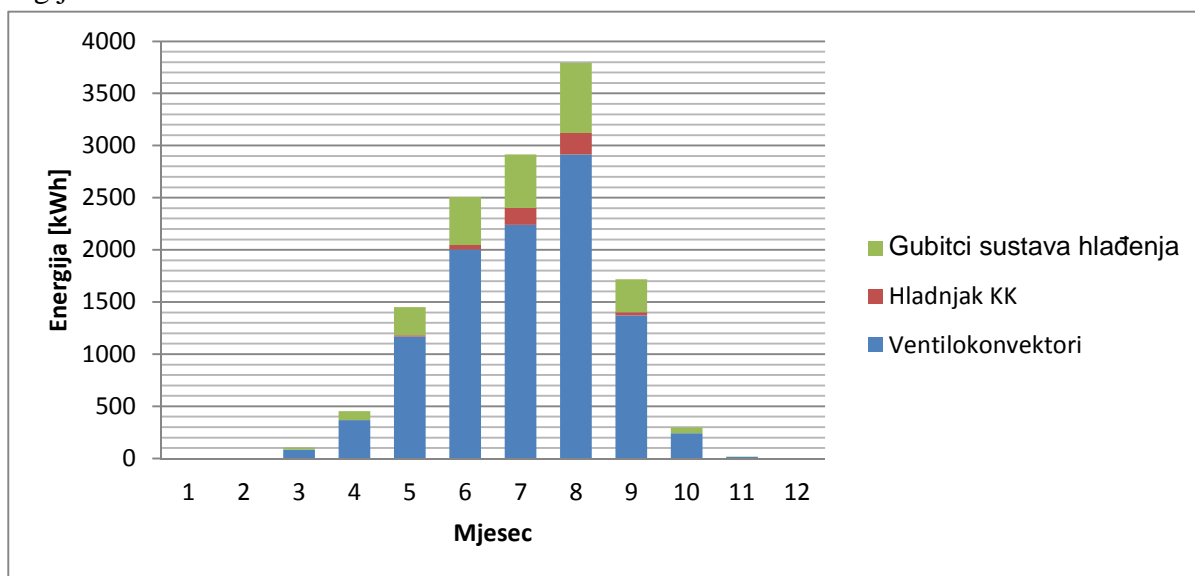
Uzeti faktori primarne energije [11]:

$$f_{p,plin}=1,095$$

$$f_{p,el}=0,798$$

### 8.3.3 Određivanje energijskih zahtjeva termotehničkog sustava – hlađenje

Proračun potrebne toplinske energije za hlađenje zgrade je proveden na sličan način kao i za prethodni sustav [9]. Razlika je tipu generatora rashladnog učina, načinu razvoda rashladnog medija te vrsti opreme za preuzimanje topline iz unutarnjeg zraka prostorije. Na slici 16 su prikazane mjesečne vrijednosti odvedenog toplinskog opterećenja iz zgrade i dobavnog zraka za ventilaciju sa prikazanim udjelima pojedinih komponenata u ukupnoj energiji.



Slika 15. Mjesečne vrijednosti odvedene topline iz zgrade pomoću rashladnika vode

Godišnja vrijednost toplinske energije koju rashladnik vode mora odvesti iz zgrade te dobavnog zraka za ventilaciju iznosi:

$$Q_{C,gen,out}=13254,5 \text{ kWh}$$

Godišnje isporučena električna energija za rad rashladnika vode (uključena i cirkulacijska pumpa integrirana unutar samog uređaja) iznosi:

$$Q_{C,gen,del,el}=3182,5 \text{ kWh}$$

Godišnja primarna energija, uz faktor primarne energije za električnu energiju  $f_{p,el}=0,798$  iznosi:

$$Q_{prim}=2539,64 \text{ kWh}$$

### 8.3.4 Utjecaj rada GViK sustava na okoliš

Utjecaj na okoliš se kao i prethodnoj varijanti rješenja razmatra u pogledu emisije CO<sub>2</sub>. Ugljični dioksid se u ovom slučaju generira izgaranjem prirodnog plina, koji nije obnovljiv izvor energije, te potrošnjom električne energije.

Korišteni faktori pretvorbe korištene energije su sljedeći [11]:

$$C_{p,plin}=0,22 \text{ kg/kWh}$$

$$C_{p,el}=0,235 \text{ kg/kWh}$$

Godišnja emisija CO<sub>2</sub> sustava sa plinskim kondenzacijskim kotlom, rashladnikom vode i ventilacijskim sustavom iznosi:

$$CO_2=6154,3 \text{ kg}$$

Izgaranje prirodnog plina čini 75% ukupne emisije CO<sub>2</sub>, a ostatak čini potrošena električna energija.

### 8.3.5 Pogonski troškovi

Osnovu procjene pogonskih troškova čine isporučena toplinska energija sustavu grijanja i ventilacije prirodnim plinom, te isporučena električna energija za pogon rashladnika vode, cirkulacijskih pumpi, regulacije, ventilatora klima komore te ventilatora ventilokonvektora. U tablici 8 je dan pregledan ispis vrijednosti utrošenih energija prema tipu energije i vrsti sustava.

	<i>grijanje [kWh]</i>	<i>hlađenje [kWh]</i>	<i>ventilacija [kWh]</i>
prirodni plin	20994	-	-
el. energija	673,7	3182,5	2678,27

Tablica 8. Pregled utrošenih energija po vrsti i sustavu – 2.varijanta rješenja

Cijene po jedinici energije i rezultirajući pogonski troškovi su prikazani u tablici 9.

	<i>ukupno [kWh]</i>	<i>cijena [kn/kWh]</i>	<i>pogonski trošak [kn]</i>
prirodni plin	20994	0,387	<b>8.124,7</b>
el. energija	6534,5	0,95	<b>6.207,8</b>
			<b>14.332,5</b>

Tablica 9. Procijenjeni pogonski troškovi – 2.varijanta rješenja

### 8.3.6 Investicijski troškovi

Za procjenu investicijskih troškova je izrađen troškovnik potrebne opreme, materijala i montaže. Potrebna oprema i materijal su ugrubo dimenzionirani.

A) Sustav grijanja					
Rbr	Opis	Mjera	Kol	Jed. cijena	Ukupno
1	Zidni plinski kondenzacijski kotao, toplinskog učina $Q=36,4$ kW, temp. režima 50/30°C, uključivo sa kotlovskom automatikom, kotlovskom pumpom, proizvod kao Vaillant ecoTEC plus VU INT 356/5-5	kom	1	9.222,00 kn	9.222,00 kn
2	Atmosferski regulator za više krugova grijanja, proizvod kao Vaillant CalorMATIC 630/3	kom	1	3.174,00 kn	3.174,00 kn
3	Osjetnici temperature sa zaštitnim čahurama i žicama za povezivanje	kompl	1	1.040,00 kn	1.040,00 kn
4	Hidraulička skretnica za protok ogrjevnog vode 1,6m <sup>3</sup> /h, proizvod kao Vaillant WH27	kom	1	1.158,00 kn	1.158,00 kn
5	Spremnik PTV V=150 L, proizvod kao Vaillant uniSTOR VIH R 150/6 B	kom	1	2.987,00 kn	2.987,00 kn
6	Razdjelnik za 3 kruga grijanja	kom	2	1.993,00 kn	3.986,00 kn
7	Set dimovodnih elemenata za odvođenje produkata izgaranja i dovodjenje zraka (koncentrično) $\Phi 60/100$ mm (h=7m)	kompl	1	2.258,00 kn	2.258,00 kn
8	Pumpa kruga ventilokonvektora, sljedećih radnih karakteristika: $\Delta p=23,55$ kPa kPa; V=3,3m <sup>3</sup> /h proizvod kao Grundfos MAGNA1D 32-40	kom	1	2.648,00 kn	2.648,00 kn
9	Pumpa kruga podnog grijanja, sljedećih karakteristika: $\Delta p=4,4$ kPa kPa; V=0,44m <sup>3</sup> /h proizvod kao Grundfos UPS 15-20 130	kom	1	828,00 kn	828,00 kn
10	Pumpa kruga grijača KK, sljedećih radnih karakteristika: $\Delta p=15,3$ kPa kPa; V=0,24m <sup>3</sup> /h proizvod kao Grundfos UPS 15-20 130	kom	1	828,00 kn	828,00 kn
11	Pumpa grijača spremnika PTV, sljedećih karakteristika: $\Delta p=13,2$ kPa; V=1,7m <sup>3</sup> /h tip kao Grundfos UPS 25-40 180	kom	1	1.770,00 kn	1.770,00 kn
12	Troputni miješajući ventili kruga ventilokonvektora i podnog grijanja, proizvodi kao VXG44.32-16 i VXG44.15-1,6, u kompletu sa motornim pogonom	kompl	1	2.500,00 kn	2.500,00 kn
13	Bakrene cijevi dvocijevnog sustava ventilokonvektora uključivo sa svim potrebnim fitinzima, sljedećih dimenzija: Cu $\Phi 42 \times 2$ mm Cu $\Phi 35 \times 2$ mm	m m	4 14	127,00 kn 74,00 kn	508,00 kn 1.036,00 kn

	Cu Ø28x1mm	m	49	52,00 kn	2.548,00 kn
	Cu Ø22x1mm	m	98	42,00 kn	4.116,00 kn
	Cu Ø18x1mm	m	113	32,00 kn	3.616,00 kn
14	Dvocijevni ventilokonvektori, temp.režima 45/40°C u grijanju te 7/12°C u hlađenju u kompletu sa termostatskim ventilom i maskom, proizvod kao CIAT Divio 900	kompl	1	38.000,00 kn	38.000,00 kn
15	PE-X cijevi za podno grijanje podrumskih prostorija Ø20x2 mm	m	128	6,00 kn	768,00 kn
16	Razdjelnik sa podžbuknim ormarićem za krugove podnog grijanja sa termostatskim ventilima i pokazivačima protoka u polaznom vodu				
	tip kao TTO Intera 69	kom	1	540,00 kn	540,00 kn
17	Sobni termostat, žičani za regulaciju termopogona krugova podnog grijanja	kom	3	110,00 kn	330,00 kn
18	Montaža navedene opreme i materijala do potpune ispravnosti te puštanje u pogon	kompl	1	23.950,00 kn	23.950,00 kn
				Ukupno:	107.811,00 kn
B) Sustav hlađenja					
1	Rashladnik vode sa zrakom hlađenim kondenzatorom, rashladnog učina Q=20,4 kW u kompletu sa međuspremnikom i cirkulacijskom pumpom te regulacijom				
	proizvod kao CIAT Aquaciat 2 80V	kom	1	25.000,00 kn	25.000,00 kn
2	Bakrene cijevi za razvod rashladne vode do kotlovnice uključivo svi potrebni fitinizi				
	Cu Ø42x2mm	m	24	127,00 kn	3.048,00 kn
3	Montaža navedene opreme i materijala do potpune ispravnosti te puštanje u pogon	kompl	1	9.060,00 kn	9.060,00 kn
				Ukupno:	37.108,00 kn
C) Ventilacijski sustav					
1	Klima komora za vanjsku ugradnju sa ugrađenim pločastim rekuperatorom, grijačem zraka Q=5,5 kW te DX hladnjakom Q=1,8 kW u kompletu sa regulacijom. V=3300m3/h -dobava/odsis				
	proizvod kao Proklima ProkPAKT	kom	1	88.440,00 kn	88.440,00 kn
2	Spiro falcani ventilacijski kanali (uključivo sa fazonskim komadima), sljedećih dimenzija:				
	Ø100	m	40	35,00 kn	1.400,00 kn
	Ø160	m	46	55,00 kn	2.530,00 kn
	Ø200	m	25	75,00 kn	1.875,00 kn
	Ø250	m	37	86,00 kn	3.182,00 kn

	Φ300	m	19	114,00 kn	2.166,00 kn
	Φ315	m	16	116,00 kn	1.856,00 kn
	Φ355	m	18	120,00 kn	2.160,00 kn
	Φ450	m	7	165,00 kn	1.155,00 kn
3	Regulatori varijabilnog protoka, cilindrični, proizvod kao Klimaoprema RVP-C u kompletu sa sobnim regulatorima	kompl	1	66.000,00 kn	66.000,00 kn
4	Stropni distributeri sa priključnim kutijama, proizvod kao Klimaoprema DK	kompl	1	6.500,00 kn	6.500,00 kn
5	Dobavne rešetke za podrumске prostorije, proizvod kao Klimaoprema OAB	kompl	1	750,00 kn	750,00 kn
6	Odsisne rešetke, proizvod kao Klimaoprema OAB	kompl	1	3.500,00 kn	3.500,00 kn
7	Montaža navedene opreme i materijala do potpune ispravnosti, te puštanje u pogon.	kompl	1	24.520,00 kn	24.520,00 kn
				Ukupno:	206.034,00 kn
				<b>UKUPNO:</b>	<b>350.953,00 kn</b>

## 8.4 Varijanta rješenja GViK sustava br.:3

### 8.4.1 Opis sustava

Za grijanje zgrade, pripremu PTV te zagrijavanje dobavnog zraka za ventilaciju, odabrana je geotermalna dizalica topline podzemna voda / voda. Nazivna snaga dizalice topline je odabrana prema projektnim toplinskim gubicima, potrebnom kapacitetu grijača klima komore te kapacitetu grijača spremnika PTV te iznosi:

$$\Phi_{DT}=38,9 \text{ kW}$$

Odabrana projektna temperatura polaza ogrjevnog vode je  $\vartheta_p = 35^\circ\text{C}$  iz razloga da se ostvari čim bolji faktor grijanja. Faktor grijanja predstavlja omjer dobivene toplinske snage i uložene električne snage na kompresoru. Prema tome, dizalica topline koja radi sa većim faktorom grijanja ima bolju učinkovitost jer za isti toplinski učin troši manje električne energije. Faktor grijanja ovisi i o temperaturi toplinskog izvora, međutim, kako je u ovom slučaju toplinski izvor podzemna voda približno stalne temperature  $\vartheta_{pv}=10^\circ\text{C}$ , ona nema znatnijeg utjecaja. Faktor grijanja odabrane dizalice topline pri projektnim uvjetima iznosi:

- $COP=5,32$  pri uvjetima ispitivanja W10/W35

Podzemna voda se uzima iz crpnog bunara pomoću potopne pumpe te se provodi preko zaštitnog pločastog izmjenjivača topline gdje predaje toplinu posrednom mediju koji predaje toplinu isparivaču dizalice topline. Podzemna voda se smije maksimalno ohladiti za  $4^\circ\text{C}$ .

Nakon pločastog isparivača, voda se vraća natrag u tlo pomoću upojnog bunara koji mora biti udaljen bar 20 m nizvodno od crpnog bunara. Razlog tome je osiguranje da ohlađena voda pri eventualno smanjenom protoku podzemne vode nebi utjecala na stanje vode u crpnom bunaru.

Odabrana ogrjevna tijela za prizemlje i kat su dvocijevni ventilokonvektori odabrani prema rezultatima proračuna projektnih toplinskih gubitaka. Regulacija učina je identična kao u varijanti sustava broj 2, dakle preko sobnog termostata koji upravlja radnom termopogona termostatskog ventila koji u slučaju postizanja tražene temperature preusmjerava ogrjevnju vodu u povrat. U podrumu se koristi industrijsko podno grijanje na isti način kao i u drugoj varijanti rješenja.

Regulacija dizalice topline daje prioritet pripremi potrošne tople vode. Kada temperatura vode u spremniku PTV padne ispod postavljene vrijednosti, regulacija povećava temperaturu polaza ogrjevnje vode na 55°C te održava taj režim sve dok se ne postigne tražena temperatura u spremniku. To naravno ima za posljedicu povećanu potrošnju električne energije. Pri temperaturi polaza od 55°C, dizalica topline ima faktor grijanja COP=3,05. Spremnik PTV je opremljen sa dodatnim električnim grijačem koji u sezoni hlađenja jedini zagrijava PTV. Razlog tome je taj što se dizalica topline koristi i za hlađenje. Pri tome mu je kondenzatorska strana na strani podzemne vode a kako dizalica topline nema rekuperator topline jedini način da se zagrije potrošna topla voda je pomoću električnog grijača.

Cirkulacijski krug klima komore je izveden na sličan način kao i kod druge varijante rješenja sa razlikom u dimenziji razvodne cijevi i dimenziji grijača / hladnjaka zbog manje temperaturne razlike polaza i povrata.

#### **8.4.2 Određivanje energijskih zahtjeva termotehničkog sustava – grijanje**

Proračun toplinske energije koju dizalica topline mora isporučiti sustavu grijanja i pripreme PTV je proveden prema normi HRN EN 15316-4-2 po *bin* metodi [10]. *Bin* metoda uz rezultate ispitivanja za standardne ispitne uvjete prema HRN EN 14511 uzima u proračun specifične radne uvjete za svaku individualnu instalaciju.

Prema bin metodi sezona grijanja se dijeli na temperaturne intervale odnosno razrede. Za određivanje trajanja pojedinog razreda koriste se ulazni podaci o satnoj vanjskoj temperaturi zraka za promatranu geografski lokaciju. Općeniti ulazni podaci za proračun su opisani u normi.

Prvi korak je podjela sezone grijanja na temperaturne intervale i određivanje energetske potreba po binovima. Za to se koriste valorizirani meteorološki podaci ispitne referentne godine za grad Zagreb. To znači da su ulazni podaci za ovaj korak, podaci o učestalosti pojavljivanja vanjskih temperatura zraka u određenom temperaturnom intervalu na razini godine u obliku kumulativnog broja sati pojavljivanja. Ključna veličina za određivanje energetske potreba je stupanj sati grijanja za određeni razred  $DH_j$ :

$$DH_{H,j} = N_j(\vartheta_{i,des} - \vartheta_{e,j}) \quad [^{\circ}Ch]$$

U navedenom izrazu veličina  $N_j$  predstavlja broj sati pojavljivanja vanjske temperature u razmatranom razredu. Navedene temperature su, redom, unutarnja i vanjska temperatura zraka. Kumulativni broj stupanj sati grijanja do nekog razreda se određuje kao zbroj stupanj sati grijanja svih prethodnih razreda.

Potrebe sustava grijanja u razredu se računaju preko težinskog faktora  $k_{H,j}$ :

$$k_{H,j} = \frac{DH_{H,th,lim,j} - DH_{H,tl,lim,j}}{DH_{H,tot}} = \frac{Q_{H,gen,out,j}}{Q_{H,gen,out}} \quad [-]$$

Navedeni stupnjevi sati grijanja u brojniku su kumulativni za gornju i donju granicu temperaturnog razmatranog temperaturnog razreda dok je u nazivniku ukupan broj stupanj sati za cijelu godinu. Vrijednost toplinske energije isporučene podsustavu razvoda  $Q_{H,gen,out}$  je potrebno prethodno odrediti prema dijelovima norme 2-1, 2-3, 3-1, 3-2 i 3-3. Kako se konfiguracija podsustava razvoda i podsustava predaje neznatno razlikuje od sustava sa plinskim kondenzacijskim kotlom, vrijednost  $Q_{H,gen,out}$  je preuzeta iz rješenja za plinski kondenzacijski kotao te iznosi:

$$Q_{H,gen,out} = 11689 \text{ kWh}$$

Težinski faktor dizalice topline u režimu pripreme PTV-a za određeni razred  $k_{W,j}$  predstavlja omjer vremena razreda i ukupnog vremena rada sustava za pripremu PTV-a (odabrano 8760 sati). U ovom slučaju je također preuzeta vrijednost toplinske energije za pripremu PTV iz sustava sa kondenzacijskim kotlom te iznosi:

$$Q_{H,gen,out} = 8340 \text{ kWh}$$

Odabrani broj temperaturnih razreda i proračun težinskih faktora za razmatranu varijantu rješenja prikazani su u tablici 10.

Br. bin-a	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4
Radna točka, $^{\circ}C$	-7	2	7	20
$\vartheta_D$ , $^{\circ}C$	-10	-2	4	15
$\vartheta_G$ , $^{\circ}C$	-2	4	15	32



Broj sati intervala, h	579	1459	3392	3330
Stupanj sati grijanja, °Ch	14018	26662	33451	
Težinski faktor, GR	0,19	0,36	0,45	
Težinski faktor, PTV	0,066	0,167	0,387	0,38

Tablica 10. Proračun težinskih faktora za dizalicu topline voda/voda

Rezultati ispitivanja dizalica topline prema normi HRN EN 14511 dobiveni su za nekoliko standardnih radnih točaka, tj. za određene temperature toplinskog izvora, ponora i temperaturne razlike na isparivaču i kondenzatoru. Rezultati ispitivanja u pogledu nominalnog toplinskog kapaciteta i rezultirajuće električne snage kompresora te faktora grijanja (COP) za odabranu dizalicu topline CIAT Dynaciat ILG 120V u nekoliko radnih točaka su prikazani u tablici 11.

temp. polaza [°C]	35	40	45	55
$\Phi_{gr}$ [kW]	38,9	38	36,9	34,8
$P_{komp}$ [kW]	7,3	8,1	9,1	11,4
COP	5,33	4,69	4,05	3,05

Napomena: određeno za temperaturu podzemne vode 10°C

Tablica 11. Radne karakteristike odabrane dizalice topline

Kako se temperatura polaza grijanja mijenja u ovisnosti o vanjskoj temperaturi zraka, potrebno je interpolirati na temelju podataka iz tablice 11 rezultirajuće toplinske snage i faktore grijanja kako bi se na kraju mogla odrediti potrebna električna energija za pogon uređaja. Dijagram iz kojeg su određene temperature polaza u grijanju i izrazi za interpolaciju su navedeni u normi [10] s time da interpolaciju prema temperaturi toplinskog izvora nije potrebno izvršiti jer se temperatura podzemne vode neznatno mijenja kroz godinu.

Prema preporuci proizvođača, uzima se međuspremnik odnosno *buffer* od 150l kako pri smanjenom opterećenju nebi došlo do preučestalog ukapčanja uređaja u pogon. Spremnik PTV je isti kao i za prethodne varijante. Toplinski gubici koje dizalica topline mora pokriti toplinski gubici podsustava razvoda i predaje topline, međutim, ti gubici su već uračunati u toplinsku energiju koja se isporučuje podsustavu predaje. Toplinski gubici spremnika PTV i međuspremnik  $Q_{HW,st,ls}$  se određuju prema koeficijentu toplinskih gubitaka iz norme koji je standardan za sve vrste spremnika:

$$U_{HW,st} = 0,16V_{W,st}^{0,5} \quad [W/K]$$

Za određivanje samih gubitaka se uzima temperaturna razlika između prosječne temperature vode u spremniku  $55^{\circ}\text{C}$  i temperature okolišnjeg zraka, a to je temperatura unutarnjeg zraka negrijane kotlovnice. Također je uračunato i vrijeme razreda.

Vrijeme rada dizalice topline u režimu grijanja  $t_{H,hp,on,j}$  i pripreme PTV  $t_{W,hp,on,j}$  predstavlja omjer toplinske energije koju dizalica toplina isporučuje za grijanje ili PTV (uz sve uračunate gubitke) te toplinskog učina pri danim temperaturnim uvjetima. Vrijeme rada dizalice topline se u konačnici koristi za određivanje električne energije pomoćnih uređaja.

Zbog izvedbe dizalice topline, kao što je u uvodu napomenuto, dizalica toplina vrši pripremu PTV samo u režimu grijanja. Ostatak perioda (u režimu hlađenja) zagrijavanje PTV vrši električni grijač. Utrošena električna energija grijača  $Q_{W,bu}$  se pritom određuje tako da se godišnje potrebna toplinska energija za pripremu PTV  $Q_{H,gen,out}=8340 \text{ kWh}$ , pomnoži sa težinskim faktorom za pripremu PTV u onom razredu u kojem nema potrebe za grijanje, u ovom slučaju to je *bin 4*.

Pomoćna energija toplinskog izvora i toplinskog ponora se određuju tako da se električna snaga pomoćne komponente pomnoži sa vremenom rada uređaja za koji je uzet da je jednak vremenu rada dizalice topline  $t_{hp,on,tot,j}$ . Potrebna električna snaga potopne pumpe za cirkulaciju podzemne vode je procijenjena na temelju okvirne duljine cjevovoda te otpora strujanju u pločastom izmjenjivaču. Pad tlaka, parametri za proračun protoka vode ( $\Delta\vartheta$  na isparivaču, rashladni učin isparivača pri projektnim uvjetima), protok vode, učinkovitost pumpe te potrebna snaga su navedeni sljedeće:

- pad tlaka kruga izvora topline:  $\Delta p=43,9 \text{ kPa}$
- temperaturna razlika na isparivaču:  $\Delta\vartheta_{isp}=4^{\circ}\text{C}$
- projektni rashladni učin isparivača:  $\Phi_{isp}=31,6 \text{ kW}$
- potrebni protok vode:  $V=6,16 \text{ m}^3/\text{h}$
- učinkovitost pumpe:  $\eta=0,75$
- potrebna el. snaga pumpe:  $P=370 \text{ W}$

Toplinski gubici dizalice topline su uračunati u faktor grijanja tako da nije potreban proračun za samu dizalicu topline. Međutim, toplinski gubici pomoćnih uređaja se računaju sa koeficijentom udjela  $k_{gen,aux,ls}=0,2$ .

U tablici 12 je dan pregled proračunskih veličina po pojedinim temperaturnim razredima.

<i>Br.bin-a</i>	<i>Bin 1</i>	<i>Bin 2</i>	<i>Bin 3</i>	<i>Bin 4</i>
$\vartheta_{sk,out} [^{\circ}\text{C}]$	33	31	27	20
$\Phi_{H,hp}(\vartheta_{sc,in};\vartheta_{sk,out}) [\text{kW}]$	40,3	40,7	41,5	42,9

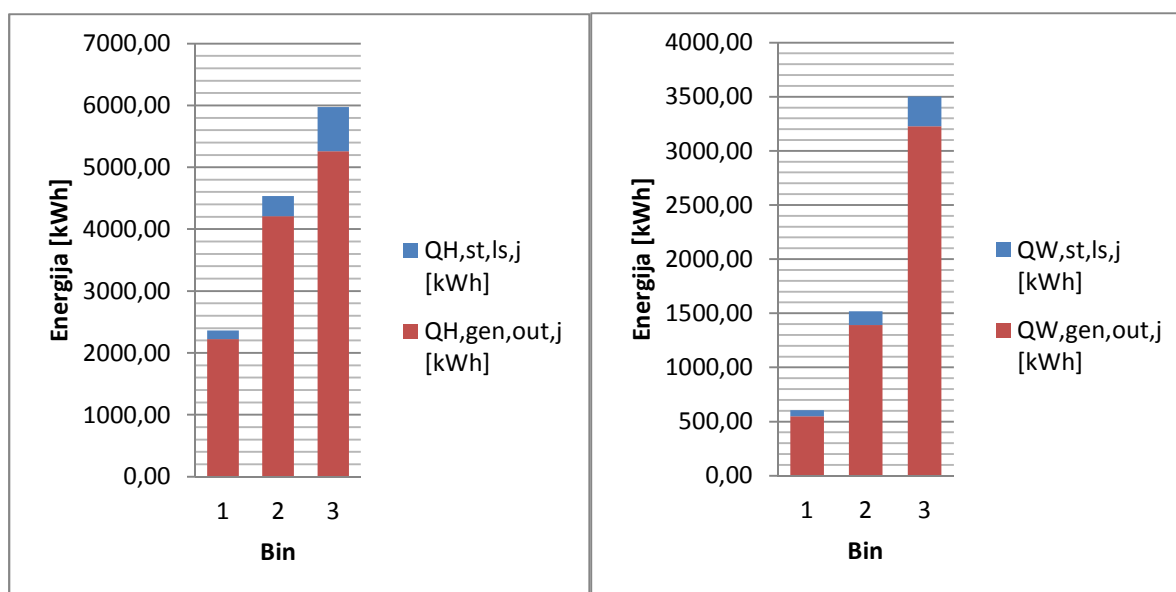
COP	5,57	5,82	6,32	7,19
$Q_{H,st,ls,j}$ [kWh]	142,08	324,81	712,24	589,70
$Q_{W,st,ls,j}$ [kWh]	55,03	125,80	275,85	228,39
$Q_{H,gen,out,j}$ [kWh]	2220,91	4208,04	5260,05	0,00
$Q_{W,gen,out,j}$ [kWh]	550,43	1392,77	3227,55	3169,17
$t_{H,hp,on,j}$ [h]	58,64	111,37	143,91	0,00
$t_{W,hp,on,j}$ [h]	16,96	42,54	98,13	0,00
$t_{hp,on,tot,j}$ [h]	75,59	153,91	242,04	0,00
$Q_{W,bu,j}$ [kWh]	0	0	0	3169,17
$W_{HW,gen,aux,j}$ [kWh]	73,027	148,681	233,823	0
$Q_{gen,aux,ls,j}$ [kWh]	14,605	29,736	46,765	0,000
<b><math>Q_{H,hp,j}</math> [kWh]</b>	<b>2362,991</b>	<b>4532,847</b>	<b>5972,283</b>	<b>0,000</b>
<b><math>Q_{W,hp,j}</math> [kWh]</b>	<b>605,463</b>	<b>1518,564</b>	<b>3503,395</b>	<b>0,000</b>

Tablica 12. Izlazni rezultati proračuna rada dizalice topline

Podebljano ispisane vrijednosti  $Q_{H,hp,j}$  i  $Q_{W,hp,j}$  označavaju energije koju dizalica topline mora isporučiti sustavu grijanja i pripreme PTV. Električna energija za postizanje tih vrijednosti se određuje na temelju COP pojedinog razreda. Potrebne godišnje električne energije za grijanje i pripremu PTV u sklopu dizalice topline, električna energija za grijanje PTV električnim grijačem te električne energije za pogon potopne pumpe su sljedeći:

- godišnje potrebna električna energija za grijanje:  $E_{H,hp,in}=2149,05 \text{ kWh}$
  - godišnje potrebna električna energija za PTV:  $E_{W,hp,in}=1844,3 \text{ kWh}$
  - godišnje potrebna električna energija za pomoćni grijač:  $E_{W,bu,in}=3169,17 \text{ kWh}$
  - godišnje potrebna električna energija za potopnu pumpu:  $E_{aux,in}=495,4 \text{ kWh}$
- ukupno:  $E_{hp,del,el}=7657,9 \text{ kWh}$

Na slici 17 su strukturirano prikazane potrebne toplinske energije za grijanje i pripremu PTV.



Slika 16. Potrebne toplinske energije za grijanje (lijevo) i pripremu PTV (desno) po binovima

#### 8.4.3 Određivanje energijskih zahtjeva termotehničkog sustava – hlađenje

S obzirom da su korišteni isti ventilokonvektori kao kod sustava sa plinskim kondenzacijskim kotlom sa gotovo identičnim radnim uvjetima, preuzete su vrijednosti toplinske energije za hlađenje  $Q_{C,gen,out}=13254,5 \text{ kWh}$ . Proračun hlađenja dizalice topline se provodi prema normi HRN EN 15243 [9] prema faktoru hlađenja (EER) i faktoru parcijalnog opterećenja  $PLV_A$  čije su odabrane vrijednosti sljedeće:

- faktor hlađenja dizalice topline:  $EER=3,6$
- faktor parcijalnog opterećenja:  $PLV_A=1,3$

Potrebna (isporučena) električna energija za pogon generatora rashladnog učina iznosi:

$$E_{C,gen,del,el}=2832,2 \text{ kWh}$$

Primarna energija iznosi:

$$E_{prim}=2260,1 \text{ kWh}$$

#### 8.4.4 Utjecaj rada GViK sustava na okoliš

Kod rada dizalice topline se ne oslobađa izravno  $\text{CO}_2$  jer nema izgaranja. Pogon je u potpunosti električni. Međutim, za proizvodnju električne energije je u nekoj određenoj mjeri korištena toplinska energija dobivena izgaranjem nekog goriva (ugljen, nafta, plin).

Korišteni faktor pretvorbe električne energije je sljedeći [11]:

$$C_{p,el}=0,235 \text{ kg/kWh}$$

Godišnja emisija CO<sub>2</sub>, sustava sa dizalicom topline grijanje i hlađenje te ventilacijskog sustava iznosi:

$$CO_2=3094,6 \text{ kg}$$

Utrošena električna energija čini 100% emisije CO<sub>2</sub>.

#### 8.4.5 Pogonski troškovi

Osnovu procjene pogonskih troškova čini isporučena električna energija za pogon dizalice topline u režimima grijanja, hlađenja i pripreme PTV, pogon potopne pumpe, cirkulacijskih pumpi krugova grijanja/hlađenja te ventilatora klima komore i ventilokonvektora. U tablici 13. je dan pregledan ispis vrijednosti utrošene električne energije prema vrsti sustava (PTV uzet u obzir u sustavu grijanja).

	<i>grijanje [kWh]</i>	<i>hlađenje [kWh]</i>	<i>ventilacija [kWh]</i>
el. energija	7657,9	2832,2	2678,27

Tablica 13. Pregled utrošenih energija po vrsti i sustavu – 3. varijanta rješenja

Cijene po jedinici energije i rezultirajući pogonski troškovi su prikazani u tablici 14.

	<i>ukupno [kWh]</i>	<i>cijena [kn/kWh]</i>	<i>pogonski trošak [kn]</i>
el. energija	13168,4	0,95	<b>12.510,00</b>
			<b>12.510,00 kn</b>

Tablica 14. Procijenjeni pogonski troškovi – 3.varijanta rješenja

#### 8.4.6 Investicijski troškovi

Na temelju sastavljenog troškovnika potrebne opreme, materijala i montaže, provedena je procjena investicijskih troškova.

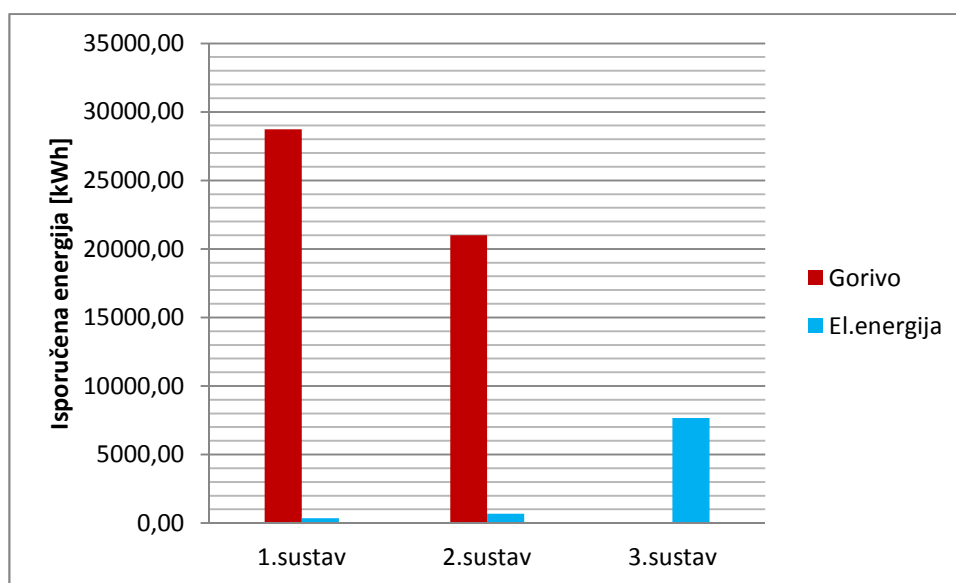
<i>A) Sustav grijanja</i>					
Rbr	Opis	Mjera	Kol	Jed. cijena	Ukupno
1	Dizalica topline voda/voda toplinskog učina Q=39,9kW pri W10/W35, uključivo sa automatikom, hidrauličkim i Aquaterm modulom, proizvod kao CIAT LGP LG 120V	kom	1	154.570,00 kn	154.570,00 kn
2	Iskopi crpnog i ponornog bunara za uzimanje podzemne vode	m	30	800,00 kn	24.000,00 kn
3	Potopna pumpa sljedećih radnih karakteristika: Δp=43,91kPa; V=6,16 m3/h	kom	1	5.180,00 kn	5.180,00 kn
4	Regulator za krugove grijanja	kom	1	3.174,00 kn	3.174,00 kn

5	Osjetnici temperature sa zaštitnim čahurama i žicama za povezivanje	kompl	1	1.040,00 kn	1.040,00 kn
6	Spremnik PTV V=150 L, proizvod kao Vaillant uniSTOR VIH R 150/6 B	kom	1	2.987,00 kn	2.987,00 kn
7	Razdjelnik za 3 kruga grijanja	kom	2	1.993,00 kn	3.986,00 kn
8	Pumpa kruga ventilokonvektora, sljedećih radnih karakteristika: $\Delta p=23,55$ kPa kPa; $V=3,3$ m <sup>3</sup> /h proizvod kao Grundfos MAGNA1D 32-40	kom	1	2.648,00 kn	2.648,00 kn
9	Pumpa kruga podnog grijanja, sljedećih karakteristika: $\Delta p=4,4$ kPa kPa; $V=0,44$ m <sup>3</sup> /h proizvod kao Grundfos UPS 15-20 130	kom	1	828,00 kn	828,00 kn
10	Pumpa kruga grijača KK, sljedećih radnih karakteristika: $\Delta p=15,3$ kPa kPa; $V=0,24$ m <sup>3</sup> /h proizvod kao Grundfos UPS 15-20 130	kom	1	828,00 kn	828,00 kn
11	Pumpa grijača spremnika PTV, sljedećih karakteristika: $\Delta p=13,2$ kPa; $V=1,7$ m <sup>3</sup> /h tip kao Grundfos UPS 25-40 180	kom	1	1.770,00 kn	1.770,00 kn
12	Troputni miješajući ventili kruga ventilokonvektora i podnog grijanja, proizvodi kao VXG44.32-16 i VXG44.15-1,6, u kompletu sa motornim pogonom	kompl	1	2.500,00 kn	2.500,00 kn
13	Bakrene cijevi dvocijevnog sustava ventilokonvektora uključivo sa svim potrebnim fitinzima, sljedećih dimenzija: Cu Ø42x2mm Cu Ø35x2mm Cu Ø28x1mm Cu Ø22x1mm Cu Ø18x1mm	m	4 14 49 98 113	127,00 kn 74,00 kn 52,00 kn 42,00 kn 32,00 kn	508,00 kn 1.036,00 kn 2.548,00 kn 4.116,00 kn 3.616,00 kn
14	Dvocijevni ventilokonvektori, temp.režima 35/30°C u grijanju te 7/12°C u hlađenju u kompletu sa termostatskim ventilom i maskom, proizvod kao CIAT Divio 900	kompl	1	38.000,00 kn	38.000,00 kn
15	PE-X cijevi za podno grijanje podrumskih prostorija Ø20x2 mm	m	128	6,00 kn	768,00 kn

16	Razdjelnik sa podžbuknim ormarićem za krugove podnog grijanja sa termostatskim ventilima i pokazivačima protoka u polaznom vodu				
	tip kao TTO Intera 69	kom	1	540,00 kn	540,00 kn
17	Sobni termostat, žičani za regulaciju termopogona krugova podnog grijanja	kom	3	110,00 kn	330,00 kn
18	Montaža navedene opreme i materijala do potpune ispravnosti te puštanje u pogon	kompl	1	23.950,00 kn	23.950,00 kn
				Ukupno:	278.923,00 kn
C) Ventilacijski sustav					
1	Klima komora za vanjsku ugradnju sa ugrađenim pločastim rekuperatorom, grijačem zraka Q=5,5 kW te DX hladnjakom Q=1,8 kW u kompletu sa regulacijom. V=3300m <sup>3</sup> /h - dobava/odsis				
	proizvod kao Proklima ProkPAKT	kom	1	88.440,00 kn	88.440,00 kn
2	Spiro falcani ventilacijski kanali (uključivo sa fazonskim komadima), sljedećih dimenzija:				
	Φ100	m	40	35,00 kn	1.400,00 kn
	Φ160	m	46	55,00 kn	2.530,00 kn
	Φ200	m	25	75,00 kn	1.875,00 kn
	Φ250	m	37	86,00 kn	3.182,00 kn
	Φ300	m	19	114,00 kn	2.166,00 kn
	Φ315	m	16	116,00 kn	1.856,00 kn
	Φ355	m	18	120,00 kn	2.160,00 kn
	Φ450	m	7	165,00 kn	1.155,00 kn
3	Regulatori varijabilnog protoka, cilindrični, proizvod kao Klimaoprema RVP-C u kompletu sa sobnim regulatorima	kompl	1	66.000,00 kn	66.000,00 kn
4	Stropni distributeri sa priključnim kutijama, proizvod kao Klimaoprema DK	kompl	1	6.500,00 kn	6.500,00 kn
5	Dobavne rešetke za podrumске prostorije, proizvod kao Klimaoprema OAB	kompl	1	750,00 kn	750,00 kn
6	Odsisne rešetke, proizvod kao Klimaoprema OAB	kompl	1	3.500,00 kn	3.500,00 kn
7	Montaža navedene opreme i materijala do potpune ispravnosti, te puštanje u pogon.	kompl	1	24.520,00 kn	24.520,00 kn
				Ukupno:	206.034,00 kn
				<b>UKUPNO:</b>	<b>484.957,00 kn</b>

## 9 ODABIR OPTIMALNOG RJEŠENJA

Nakon izvršenih proračuna energijskih zahtjeva za grijanje, hlađenje i ventilaciju, moguće je međusobno usporediti sva tri sustava s ciljem određivanja optimalnog rješenja. Na slici 17 su prikazane godišnje isporučene energije sustavima potrebne za grijanje (uključen grijač klimatizacijske jedinice) i pripremu PTV.



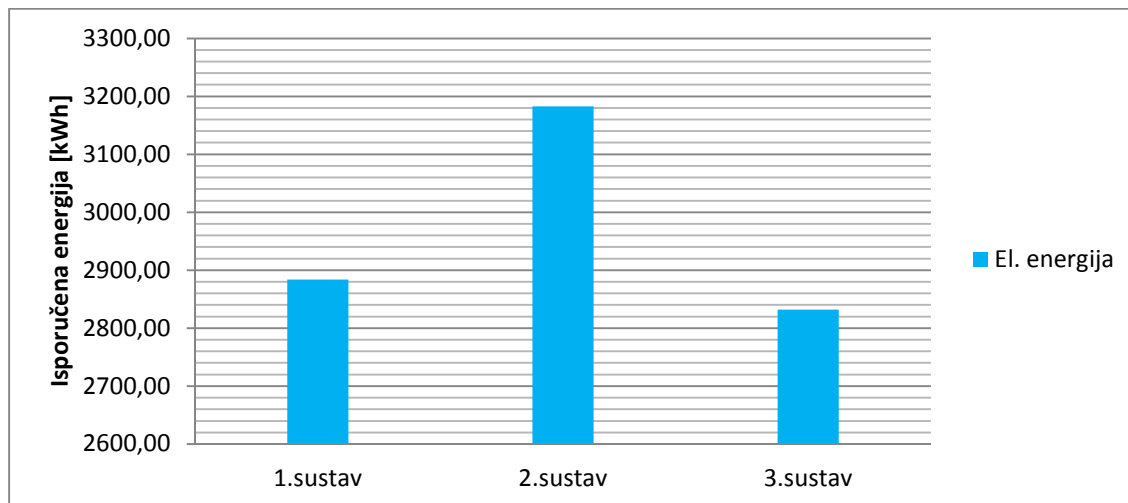
*Slika 17. Godišnje isporučena energija za grijanje i pripremu PTV po sustavima*

Vidljivo je da 1. sustav kojeg čini kotao na pelete zahtijeva najviše goriva da bi zadovoljio potrebe za grijanjem i pripremom PTV. Sustav 2 kojeg čini plinski kondenzacijski uređaj za isti učin ima veću iskoristivost jer koristi toplinu kondenzacije uz to što je sadržaj vlage u peletima veći od sadržaja vlage u prirodnom plinu. Sustav 3 kojeg čini dizalica topline zahtijeva najmanje isporučene energije i to samo električne energije. U isporučenoj energiji za dizalicu topline je uračunata i energija pomoćnog električnog grijača za pripremu PTV koji radi polovicu godine.

Na slici 18 su prikazane isporučene energije za hlađenje zgrade i pripremu dobavnog zraka za ventilaciju. Najneučinkovitiji sustav je 2. sustav kojeg čini rashladnik vode, a razlog tome je taj što koristi vanjski zrak kao toplinski ponor čija temperatura znatno varira uz to što koristi posredni medij (vodu) između toplinskog izvora i ponora. Sustav 1 kojeg čini VRV sustav hlađenja također koristi vanjski zrak kao toplinski ponor, međutim nema posrednog medija za prijenos rashladnog učina jer radna tvar isparava izravno u sobnim jedinicama. Sustav 3 kojeg čini dizalica topline je najučinkovitiji za hlađenje. Princip rada mu je sličan



uređajima ostalih sustava, međutim, kao toplinski ponor se koristi podzemna voda za koju je pretpostavljeno da je konstantnog iznosa tokom cijele godine (10°C) pa je prema tome i faktor hlađenja najviši (najmanja temperaturna razlika između toplinskog izvora i ponora).

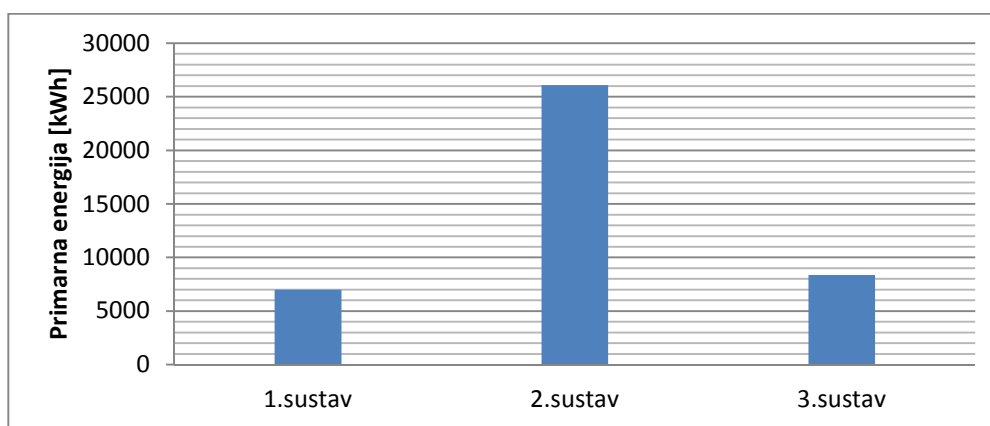


Slika 18. Godišnje isporučena energija za hlađenje po sustavima

Kako je klimatizacijska jedinica sustava ventilacije sva tri sustava jednaka, te radi pretpostavljeno pri jednakim uvjetima (količina dobavnog zraka i otpor strujanju kroz kanale), tako je i isporučena energija za pogon ventilatora i pomoćnih uređaja (regulacija i motorni pogoni regulatora varijabilnog protoka) jednaka i iznosi:

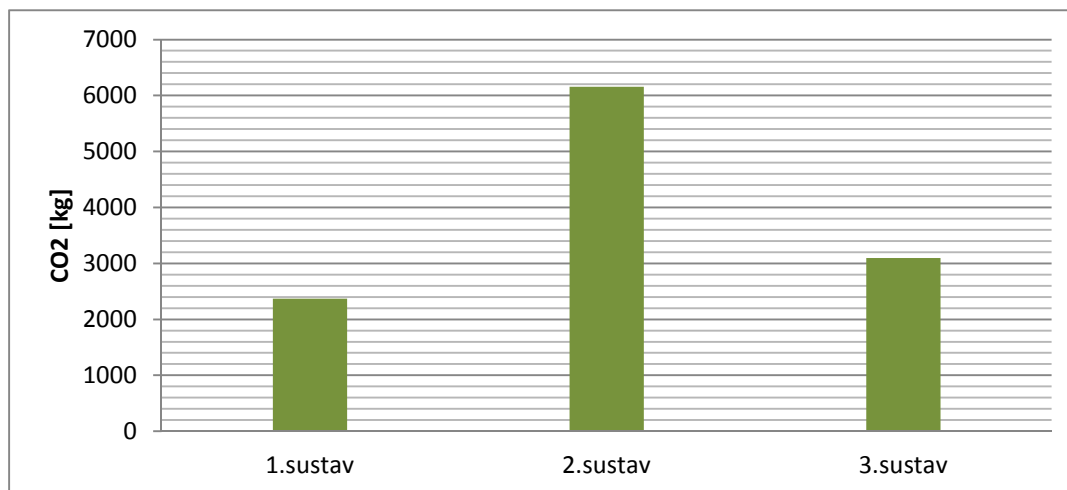
$$E_{vel}=2678,27 \text{ kWh}$$

Godišnje primarne energije sva tri sustava su prikazane na slici 19. Sustav 1 koristi najmanje prirodne energije jer koristi biomasu koja je obnovljivi izvor energije.



Slika 19. Godišnje primarne energije po sustavima

Utjecaj pojedinog sustava na okoliš je prikazan na slici 20. Vidljivo je da 2. sustav generira najveće emisije CO<sub>2</sub> je izgara prirodni plin. Peleti 1. sustava su biomasa koja je CO<sub>2</sub> neutralna tako da ima najmanji utjecaj na okoliš.

Slika 20. Utjecaj pojedinog sustava na okoliš emisijom CO<sub>2</sub>

Na provedene analize određeni su pogonski troškovi na temelju podjele prema vrsti energije (gorivo i električna energija) i na temelju trenutnih cijena na tržištu energenata. Grubim određivanjem potrebne opreme i materijala, procijenjeni su investicijski troškovi. U tablici 15 je dan pregledan ispis pogonskih i investicijskih troškova prema varijanti sustava.

Rbr	Opis varijante rješenja	Pogonski troškovi [kn]	Investicijski troškovi [kn]
1.	kotao na biomasu za grijanje i PTV, VRV sustav za hlađenje i sustav ventilacije	14.418,87	411.241,00
2.	plinski kondenzacijski kotao u kombinaciji sa rashladnikom vode te sustav ventilacije	14.332,5	350.953,00
3.	Geotermalna dizalica topline podzemna voda/voda, sustav ventilacije	12.510,00	484.957,00

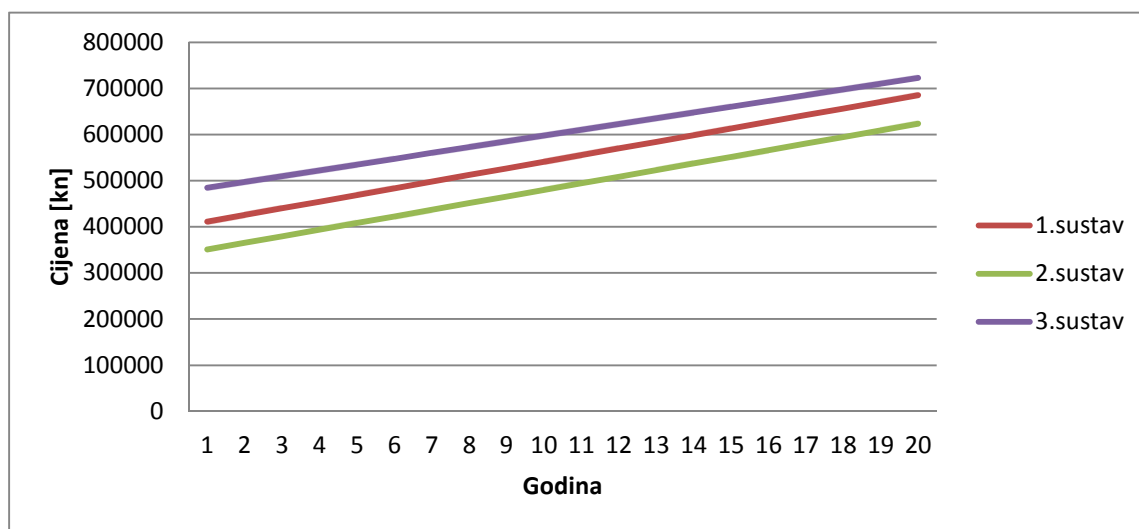
Tablica 15. Pregled pogonskih i investicijskih troškova

Vidljivo je da je 3. varijanta rješenja pogonski najoptimalnija, međutim i investicijski najskuplja. Prve dvije varijante su po pogonskim troškovima praktički izjednačene a razlog tome su gotovo iste cijene energenata. 2.varijanta rješenja je investicijski najoptimalnija.

Na slici 21 dan je pregled ukupnih troškova sustava (investicijski i pogonski) kroz period korištenja od 20 godina. Vidljivo je da u odabranom periodu korištenja sustav sa plinskim kondenzacijskim kotlom najoptimalniji. Dizalica topline ima niže pogonske troškove,

međutim zbog izvedbe sa električnim grijačem koji zagrijava PTV u sezoni hlađenja, nisu dovoljno niski bi se početna investicija isplatila.

Odabrana varijanta rješenja je sustav sa plinskim kondenzacijskim kotlom za grijanje zgrade i PTV-a, rashladnikom vode sa zrakom hlađenim kondenzatorom te sustavom ventilacije sa varijabilnim protokom zraka i pločastim rekuperatorom topline. Naime, iako gledano sa ekološkog stajališta najviše zagađuje okoliš, dugoročno je ekonomski najisplativiji.



Slika 21. Pregled ukupnih troškova sustava kroz period od 20 godina korištenja

## 10 ODABIR OPREME

### 10.1 Plinski kondenzacijski uređaj

Odabran je zidni plinski kondenzacijski uređaj sa ventilatorskim plamenikom, integriranom cirkulacijskom pumpom, membranskom ekspanzijskom posudom od 10l te sigurnosnim ventilom 1/2“.

Tehničke karakteristike:

$$Q_{gr}=7,1 - 37,1 \text{ kW (50/30}^{\circ}\text{C)}$$

$$Q_{gr}=6,4 - 35 \text{ kW (80/60}^{\circ}\text{C)}$$

$$Q_{gr,min}=6,2 \text{ kW}$$

- količina vodenog kondenzata pri radu 50/30°C: 3,6 l/h
- plinski priključak: 15 mm
- priključak na grijanje: 22 mm
- priključak zrako/dimovoda: 60/100 mm
- priključni tlak za zemni plin: 2 kPa
- električni priključak: 230V/50Hz
- eBUS sučelje
- priključci su sa donje strane uređaja

tip: ecoTEC plus VU INT I 365/5- 5

proizvođač: Vaillant

### 10.2 Ventilokonvektori

Odabrani su parapetni ventilokonvektori sa maskom i uključenim troputnim termostatskim ventilom sa termo-električnim pogonom. Odabrani temperaturni režim rada ventilokonvektora je jednak temperaturnom režimu plinskog kondenzacijskog uređaja (50/30°C). Kao dodatna opcija su uzete nogice kroz koje se vrši priključak na razvod ogrjevnice i rashladne vode.

Tehničke karakteristike:

- razvod: dvocjevni – regulacija na strani vode

$$Q_{gr}= 0,82 / 1,42 / 2,04 \text{ kW}$$

$$Q_{hl}= 1,04 / 1,55 / 1,79 \text{ kW}$$

$$T_{hl} = 7/12^{\circ}\text{C}$$

- nivo zvučnog tlaka: 28 / 35 / 43 dB(A) na udaljenosti 1m
- protok zraka: 155 / 242 / 300 m<sup>3</sup>/h
- električni priključak: 230V/50Hz
- električna snaga: 2 / 11 / 19 W
- dimenzije ŠxVxD: 897x579x129 mm

tip: Divio 900

proizvođač: CIAT

Tehničke karakteristike:

- razvod: dvocjevni – regulacija na strani vode

$Q_{gr} = 0,37 / 0,71 / 0,97$  kW

$Q_{hl} = 0,41 / 0,75 / 0,86$  kW

$T_{hl} = 7/12^{\circ}\text{C}$

- nivo zvučnog tlaka: 25 / 34 / 41 dB(A) na udaljenosti 1m
- protok zraka: 55 / 107 / 150 m<sup>3</sup>/h
- električni priključak: 230V/50Hz
- električna snaga: 2 / 4 / 9 W
- dimenzije ŠxVxD: 697x579x129 mm

tip: Divio 700

proizvođač: CIAT

<i>Etaža</i>	<i>Namjena</i>	<i>Ventilokonvektor</i>
Prizemlje	Poslovođa/skladištar	Divio 900
	Garderoba	Divio 900
	Sanitarije	Divio 700
	Ured	Divio 900
	Radiona	2x Divio 700
Kat	Vjetrobran	Divio 900
	Prijem	Divio 900
		Divio 700
	Ured 1	Divio 900
	Sastanci	Divio 900

	Ured 2	3x Divio 900 2x Divio 700
	Ured 3	Divio 900
	Hodnik	Divio 700
	Caffe	Divio 700

Tablica 16. Odabrani ventilokonvektori po prostorijama

### 10.3 Podno grijanje

Za podrum je odabrano podno grijanje temperaturnog režima 35/30°C. Odabrani raspored i cijevi su sljedeći:

- odabrane cijevi: PEX 20x2 mm
- razmak između cijevi: 45 mm
- specifični toplinski učin: 40 W/m<sup>2</sup>
- tip ugradnje: pričvrсна traka
- proizvođač: Uponor

### 10.4 Troputni miješajući ventili

Odabrani miješajući troputni ventil kruga ventilokonvektora ima sljedeće tehničke karakteristike:

- nazivni promjer: DN32
- $k_{vs}$  vrijednost: 16 m<sup>3</sup>/(h bar)
- aktuator SQS65 (AC0..24; DC0..10)
- linearna karakteristika protoka
- masa: 1,6 kg
- tip: VXG44.32-16
- proizvođač: Siemens

Odabrani miješajući troputni ventil kruga podnog grijanja ima sljedeće tehničke karakteristike:

- nazivni promjer: DN15
- $k_{vs}$  vrijednost: 1,6 m<sup>3</sup>/(h bar)
- aktuator SQS65 (AC0..24; DC0..10)
- linearna karakteristika protoka
- masa: 0,5 kg

tip: VXG44.15-1,6  
proizvođač: Siemens

### 10.5 Sabirnik i razdjelnik vode

Razdjelnik/sabirnik vode s tri kruga grijanja izoliran s izolacijom od EPS 25 mm (prema DIN 4102-B2) te oplatom od pocinčanog lima 0.8 mm. Antikorozivno zaštićen temeljnom bojom. Razdjelnik ispitan tlačnom probom na 12 bara, radni tlak max. 6 bara, temperatura polaznog voda max. 90 °C.

tip: HV 60/125 SG  
proizvođač: Maring d.o.o.

### 10.6 Cirkulacijske pumpe

Cirkulacijske pumpe, navojne, monoblok izvedba, odabrane za sustav grijanja prema podsustavu predaje toplinske energije su sljedeće:

tip: ALPHA25-40 180  
proizvođač: Grundfos

- opskrba grijača klima komore
- oznaka pumpe u projektu: P1

tip: MAGNA 1D 32-40  
proizvođač: Grundfos

- frekventno regulirana
- opskrba ventilokonvektora (prizemlje+etaža)
- oznaka pumpe u projektu: P2

tip: UPS 15-20 130  
proizvođač: Grundfos

- opskrba kruga podnog grijanja (podrum)
- oznaka pumpe u projektu: P3

tip: UPS 15-20 130  
proizvođač: Grundfos

- opskrba grijača spremnika PTV
- oznaka pumpe u projektu: P4

tip: UPS 25-80 N 120

proizvod: Grundfos

- recirkulacija potrošne tople vode

-oznaka pumpe u projektu: P5

## 10.7 Ekspanzijske posude

### Proračun ekspanzijske posude za sustav grijanja

Minimalni volumen ekspanzijske posude se računa prema:

$$V_{n,min} = (V_e + V_v) \frac{p_e + 1}{p_e - p_o} \quad [l]$$

$V_{n,min}$  – minimalni volumen zatvorene ekspanzijske posude (lit)

$V_e$  – volumen širenja vode u litrama izazvan povišenjem temperature vode od 10°C do maksimalne temperature polaznog voda (lit)

$V_v$  – dodatni volumen (zaliha) – oko 0,5 % volumena vode u instalaciji (min 3 L)

$p_e$  – projektni krajnji tlak – povezan s točkom otvaranja sigurnosnog ventila

$p_o$  – primarni tlak ekspanzijske posude (prilikom isporuke)

Ukupna količina vode u sustavu iznosi:

$$V_A = 332,5 \text{ L}$$

$n = 2,86$  (koeficijent širenja vode od 10°C od 80°C – mod zagrijavanja PTV)

$$V_{n,min} = 19,55 \text{ L}$$

Odabrana je čelična membranska ekspanzijska posuda za sustav grijanja:

- maksimalni tlak:  $p_{max} = 3,5 \text{ bar}$

- maksimalna temperatura:  $TS = 90 \text{ [°C]}$

- nazivni volumen  $V_n = 24 \text{ L}$

- priključak S: R 3/4

- promjer Ø: 325 mm

- visina H: 420 mm

- masa: 5 kg

tip: MN-24

proizvođač: Pneumatex



### Proračun ekspanzijske posude za sustav PTV

Ukupna količina vode u sustavu:

$$V_A = 250 \text{ L}$$

$n = 1,66$  (koeficijent širenja vode od 10°C od 60°C)

$$V_{n,min} = 9,45 \text{ L}$$

Odabrana je čelična membranska ekspanzijska posuda za sustav grijanja:

- maksimalni tlak:  $p_{max} = 3,5 \text{ bar}$
- maksimalna temperatura:  $TS = 90 \text{ [°C]}$
- nazivni volumen  $V_n = 10 \text{ L}$
- priključak S:  $R \text{ } 3/4$
- promjer  $\varnothing$ :  $245 \text{ mm}$
- visina H:  $330 \text{ mm}$
- masa:  $2,55 \text{ kg}$

tip: MN-10  
proizvođač: Pneumatex

### **10.8 Spremnik PTV**

Odabran je indirektno grijani spremnik PTV od čelika, emajliran sa unutarnje strane, s uronjivim izmjenjivačem, toplinski izoliran sa poliuretanskom izolacijom.

Tehničke karakteristike:

- zapremnina spremnika:  $144 \text{ L}$
- priključak hladne/tople vode:  $R3/4''$
- priključak recirkulacije PTV:  $R3/4''$
- priključak polaznog/ povratnog voda grijanja:  $R1''$
- visina:  $1090 \text{ mm}$
- promjer:  $590 \text{ mm}$
- težina (prazan):  $78 \text{ kg}$

tip: uniSTOR VIH R 150/6  
proizvođač: Vaillant

### **10.9 Regulacija sustava grijanja i pripreme PTV**

Odabran je atmosferski regulator sa vanjskim osjetnikom za upravljanje sustavom grijanja u ovisnosti o vanjskoj temperaturi. Regulator upravlja sa jednim direktnim i dva

miješajuća kruga grijanja, spremnikom potrošne tople vode i cirkulacijskom crpkom potrošne tople vode.

Tehničke karakteristike:

- pogonski napon:	230V/50Hz
- ukupna maksimalna struja:	6,3 A
- minimalni potrebni presjek priključnog voda:	2x0,78...1,5 mm <sup>2</sup>
- radni napon osjetnika:	5 V
- vrsta zaštite:	IP 20
- dimenzije ŠxVxD:	272x292x74 mm

tip: calorMATIC 630/3

proizvođač: Vaillant

### 10.10 Rashladnik vode

Odabran je rashladnik vode sa zrakom hlađenim kondenzatorom sa aksijalnim ventilatorom, za vanjsku ugradnju. Sustav regulacije učina za hlađenje je uključen. U sklopu rashladnik vode se nalazi integrirana cirkulacijska crpka te ekspanzijska posuda. Opcijski je odabran i hidraulički modul koji služi kao međuspremnik (dimenzija prema preporuci proizvođača).

Tehničke karakteristike:

- neto rashladni učin:	20,5 kW (7/12°C; T <sub>ok</sub> =35°C)
- neto apsorbirana snaga:	6,73 kW
- neto EER koeficijent (bez crpke):	3,04
- regulacija učina:	100-0%
- napajanje regulacijskog kruga:	1 faza 230V/50Hz
- zapremnina hidrauličkog modula:	100 L
- ekspanzijska posuda:	6 L
- cirkulacijska crpka:	°44
- priključak vode:	R5/4"
- dimenzije DxŠ:	1995x1055 mm
- masa praznog uređaja:	390 kg

tip: Aquaciat LD 80V

proizvođač: CIAT

### 10.11 Klimatizacijska jedinica

Odabrana je etažna klimatizacijska jedinica za vanjsku ugradnju sa pločastim rekuperatorom topline, filtrima te grijačem i hladnjakom u jednom izmjenjivaču topline. Izvedba je iz jednog dijela.

Tehničke karakteristike:

#### Električni podaci

- električni priključak: 3x400V/50Hz
- nazivna ulazna snaga: 3,6 kW
- nazivna struja: 5,9 A

#### Dobavni zrak

- volumni protok zraka: 3300 m<sup>3</sup>/h
- totalni pad tlaka: 605 Pa
- filter: F7
- povrat topline rekuperatora – grijanje: 34,27kW (eta=88,4%)
- povrat topline rekuperatora – hlađenje: 5,38kW (eta=80,2%)
- učinkovitost ventilatora: 59,76 %
- kapacitet grijača/hladnjaka: 5,5/2 kW
- minimalna izlazna temperatura: 20°C

#### Otpadni zrak

- volumni protok zraka: 3300 m<sup>3</sup>/h
- totalni pad tlaka: 505 Pa
- filter: F7
- učinkovitost ventilatora: 58,44 %

#### Ostalo

- zaklopka na otpadnom i svježem zraku
- regulator protoka
- pogon ventila
- cirkulacijska pumpa

tip: ProkPAKT Thor TB2

proizvođač: Proklima

### 10.12 Distributeri zraka i odsisne rešetke

Za dobavu zraka u podrum su odabrane ventilacijske rešetke, postavljene bočno na ventilacijske kanale. Rešetke i lamele su izrađene od elkosiranog aluminijsa sa jednim redom horizontalno nepomičnih lamela. Brzina istrujavanja je odabrana da ne prelazi 1,5m/s efektivne brzine. Efektivna brzina odisisa kod odsisnih rešetki je odabrana da ne prelazi 2,5 m/s zbog izbjegavanja stvaranja buke. U tablici 17 je naveden raspored odabranih dobavnih i odsisnih rešetki po prostorijama.

Oznaka	Namjena	Dobavna rešetka	Odsisna rešetka
0.1	Spremište	OAB525x75	OAB225x125
0.2	Skladište klima uređaja 2	OAB525x125	OAB425x125
0.3	Skladište klima uređaja 1	OAB425x125	OAB225x125

Tablica 17. Odabrane dobavne rešetke po prostorijama

Za dobavu zraka u prizemlje i kat odabrani stropni krilasti distributeri za dobave zraka iznad 100m<sup>3</sup>/h. Istrujna ploča je izrađena od čeličnog lima i plastificirana u bijeloj boji, RAL 9010. Krilca su fiksno postavljena. Opcijski su odabrane kvadratne priključne kutije. Za dobave zraka manje od 100m<sup>3</sup>/h odabrani su zračni ventili. Za odsis zraka iz prostorija odabrane su odsisne rešetke i zračni ventil. U tablici 18 je naveden raspored stropnih distributera/zračnih ventila te odsisnih rešetki i odsisnog zračnog po prostorijama.

Oznaka	Namjena	Dobava zraka	Odsis zraka
1.1	Poslovođa/skladištar	ZOT100	ZOV100
1.3	Garderoba	DK315	OAB825x225
1.5	Ured	DK200	OAB425x125
1.6	Radiona	DK250	OAB425x225
2.2	Prijem	DK200	-
2.3	Ured 1	DK250	OAB625x125
2.4	Sastanci	DK315	OAB825x225
2.5	Ured 2	2xDK250	2x OAB625x125
2.6	Ured 3	DK250	OAB625x125
2.7	Hodnik	-	OAB625x125

Tablica 18. Odabrani stropni distributeri i zračni ventili po prostorijama

### 10.13 Regulatori varijabilnog protoka

Odabrani su cilindrični regulatori varijabilnog protoka zraka za regulaciju količine zraka preko sobnog regulatora s osjetnikom koncentracije ugljičnog dioksida. Parametri maksimalnog (100%) i minimalnog protoka (30%) su tvornički namješteni. Za svaku prostoriju se koriste 2 regulatora, jedan na dobavnoj grani a drugi na odsisnoj osim u podrumu gdje su po jedan na glavnoj dobavnoj i jedan na glavnoj odisisnoj grani ventilacijskog kanala. U tablici 19 su prikazani odabrani regulatori prema prostorijama (korišteni su isti za dobavnu i odsisnu granu).

<i>Oznaka</i>	<i>Namjena</i>	<i>Regulator protoka</i>
-	Podrum	RVP-C-160
1.1	Poslovođa/skladištar	RVP-C-100
1.3	Garderoba	RVP-C-250
1.5	Ured	RVP-C-160
1.6	Radiona	RVP-C-200
2.2	Prijem	RVP-C-160
2.3	Ured 1	RVP-C-200
2.4	Sastanci	RVP-C-250
2.5	Ured 2	2x RVP-C-200
2.6	Ured 3	RVP-C-200
2.7	Hodnik	RVP-C-200

Tablica 19. Odabrani regulatori varijabilnog protoka zraka po prostorijama

### 10.14 Sobni regulatori protoka zraka

Odabrani su sobni regulatori protoka zraka sa ugrađenim osjetnikom koncentracije ugljičnog dioksida. Tip uređaja je Codis 45 VAV proizvođača Klimaoprema.

## 11 PRORAČUN CJEVOVODA

Za razvod tople i hladne vode odabrane su bakrene cijevi. Dimenzije cjevovoda su odabrane tako da brzina strujanja u cijevima ne prelazi preporučene vrijednosti dane u tablici 20.

Nazivna veličina	Brzina strujanja vode [m/s]	
	Minimalno	Maksimalno
<DN15	0,01-0,013	0,3
DN15	0,013	0,35
DN20	0,015	0,65
DN25	0,018	0,8
DN32	0,02	1
DN40	0,03	1,5
DN50	0,04	1,5
>DN50	0,05-0,06	1,5

Tablica 20. Preporučene brzine strujanja vode u cijevima

Za dimenzioniranje cjevovoda su korištene tablice sa padovima tlaka u ovisnosti o dimenziji cijevi te toplinskog kapaciteta. Osnova za određivanje dimenzije cijevi je toplinski kapacitet ogrjevnog/rashladnog medija koji struji kroz cijev, koji ovisi o brzini strujanja, unutarnjem promjeru cijevi te o temperaturnoj razlici između polaza i povrata. Na temelju te vrijednosti, odabire se unutarnji promjer cijevi tako da se zadovolji uvjet preporučenih brzina strujanja. Toplinski kapacitet ogrjevnog/rashladnog medija se određuje prema potrebnom učinku uređaja za predaju toplinske energije. Kod grijanja i hlađenja ventilokonvektorima, bira se veći od ta dva učina za dimenzioniranje. U tablici 21 su prikazane dimenzije cijevi, brzine strujanja i padovi tlaka po dionicama.

<i>Dionica</i>	<i>Q [W]</i>	<i>dv [mm]</i>	<i>du [mm]</i>	<i>w [m/s]</i>	<i>m [kg/h]</i>	<i>R [Pa/m]</i>	<i>L [m]</i>	<i>ζ</i>	<i>Δp<sub>uk</sub> [Pa]</i>
D1.1	1260	18	16	0,32	231,62	110	26,6	5,6	7812,7
D1.2	1180	18	16	0,32	231,62	100	2,8	4,7	5120,6
D1.3	2440	22	20	0,36	407,15	90	17,8	1,8	1718,6
D1.4	580	18	16	0,15	108,57	26	1	10	4738,5
D1.5	3020	22	20	0,42	475,01	120	9	0	1080,0
D1.6	1270	18	16	0,32	231,62	110	1	4,1	4919,9
D1.7	4290	28	26	0,38	726,31	75	12	8	577,6
D1.8	1155	18	16	0,3	217,1469	90	16	4	6220,0
D1.9	1155	18	16	0,3	217,15	90	1	3,5	4847,5
D1.10	2310	22	20	0,32	361,91	75	16,4	12	1818,8
D2.1	940	18	16	0,24	173,72	65	5,8	4,4	5103,7
D2.2	900	18	16	0,26	188,19	70	2,4	5,5	4953,9
D2.3	1840	22	20	0,26	294,05	50	11,6	3,7	705,1
D2.4	700	18	16	0,19	137,5264	40	1	5,7	4742,9
D2.5	2540	22	20	0,36	407,15	90	18,2	4,6	1793,5
D2.6	1300	18	16	0,34	246,10	120	1	4,5	4980,1
D2.7	3840	22	20	0,55	622,04	190	7,2	0	1368,0
D2.8	1610	18	16	0,4	289,53	170	1	5,4	5074,0
D2.9	5450	28	26	0,48	917,45	110	9	0,7	1070,6
D2.10	1175	18	16	0,32	231,62	100	1	3,8	4894,6
D2.11	6625	28	26	0,6	1146,81	160	7,4	0,8	1328,0
D2.12	1175	18	16	0,32	231,62	100	1	7	5058,4
D2.13	7800	28	26	0,7	1337,94	220	4,1	4,8	2078,0
D2.14	1580	18	16	0,4	289,53	170	8,6	1	6142,0
D2.15	590	18	16	0,15	108,57	28	1	6,3	4698,9
D2.16	2170	22	20	0,3	339,29	65	5	1,6	72,0
D2.17	590	18	16	0,15	108,57	28	1	7,5	4712,4
D2.18	2760	22	20	0,4	452,39	110	8,2	2,5	1102,0
D2.19	1175	18	16	0,32	231,6233	100	1	4,7	4940,6
D2.20	3935	22	20	0,55	622,04	200	3,2	3,2	1154,3
D2.21	300	18	16	0,1	72,38229	15	12,6	3,5	4806,5
D2.22	430	18	16	0,11	79,62	16	2	2,5	4647,1
D2.23	730	18	16	0,19	137,53	40	22	2,8	930,5
D2.24	11735	35	32	0,6	1737,18	120	6,2	3,5	1374,0
D2.0	12465	35	32	0,6	1737,18	130	6	2,9	1302,0
D1.0	6600	28	26	0,6	1146,81	160	14	8,3	3734,0
D0-V	19065	42	39	0,7	3010,37	140	3	1,4	2423,0

Tablica 21. Rezultati proračuna cijevne mreže ventilokonvektora

Kritična dionica je dionica ujedno i najudaljenija točka cjevovoda a to je dionica D2.1 koja povezuje ventilokonvektor prostorije 2.1 (vjetrobri).

Pad tlaka pri strujanju vode od razdjelnika u kotlovnici do dionice D2.1 i natrag do sabirnika iznosi:

$$\Delta p_{\text{krit}} = 23,55 \text{ kPa}$$

Rezultati proračuna razvoda grijača/hladnjaka klimatizacijske jedinice su prikazani u tablici 22. Ukupni pad tlaka je ujedno i maksimalni pad tlaka.

Dionica	$Q [W]$	$d_v$ [mm]	$d_u$ [mm]	$w$ [m/s]	$m$ [kg/h]	$R$ [Pa/m]	$L [m]$	$\zeta$	$\Delta p_{uk} [Pa]$
KK1	5500	22	20	0,26	294,05	50	45	10,4	12751,52

Tablica 22. Rezultati proračuna razvoda grijača/hladnjaka klimatizacijske jedinice

Rezultati proračuna razvoda podrumskog podnog grijanja su prikazani u tablici 23.

Dionica	$Q$ [W]	$d_v$ [mm]	$d_u$ [mm]	$w$ [m/s]	$m$ [kg/h]	$R$ [Pa/m]	$L [m]$	$\zeta$	$\Delta p_{uk} [Pa]$
PG1	2550	22	20	0,36	407,1504	90	23	8,8	3640,24

Tablica 23. Rezultati proračuna razvoda podnog grijanja podruma



## 12 PRORAČUN VENTILACIJSKIH KANALA

Za ventilacijske kanale su odabrane spiralno falcane cijevi. Kanali su dimenzionirani tako da se brzina strujanja zraka smanjuje od ulaza glavnih grana na etaže od oko 5m/s do istrujnih otvora na oko 2,5m/s. Koeficijenti linijskih i lokalnih padova tlaka su preuzeti iz ASHRAE Fundamentals. U tablici 24 su prikazani rezultati proračuna dobavnih a u tablici 25 odsisnih ventilacijskih kanala.

<b>Dobava:</b>										
Dionica	V	D	Astv	vstv	L	R	ζ	ΔplO	Δplok	Δpuk
	[m <sup>3</sup> /h]	[mm]	[m <sup>2</sup> ]	[m/s]	[m]	[Pa/m]		[Pa]	[Pa]	[Pa]
D0.1	260	<b>160</b>	0,020106	3,592039	6,8	1,6	0,52		4,03	14,91
D0.2	190	<b>160</b>	0,020106	2,624951	2,8	1	1,2	70	4,96	77,76
D0.3	140	<b>160</b>	0,020106	1,934175	3,8	0,6	0,13	70	0,29	72,57
D0.4	50	<b>100</b>	0,007854	1,768388	17	0,5	4,31	70	8,09	86,59
D1.1	1130	<b>300</b>	0,070686	4,440619	2,4	0,9	1,46		17,27	19,43
D1.2	350	<b>200</b>	0,031416	3,094679	1,6	0,7	5,51	80	31,66	112,78
D1.3	780	<b>250</b>	0,049087	4,413897	3,7	1	0,13		1,52	5,22
D1.4	180	<b>160</b>	0,020106	2,486796	3,5	0,6	1,31	35	4,86	41,96
D1.5	600	<b>250</b>	0,049087	3,395305	10	0,7	1,74		12,04	19,04
D1.6	530	<b>250</b>	0,049087	2,999186	3,8	0,5	1,74	60	9,39	71,29
D1.7	70	<b>100</b>	0,007854	2,475744	8,6	1,1	4,79	70	17,62	97,08
D2.1	1860	<b>355</b>	0,09898	5,21992	1,7	0,8	1,94		31,72	33,08
D2.2	250	<b>200</b>	0,031416	2,210485	4,9	0,5	18,95	70	55,56	128,01
D2.3	1610	<b>355</b>	0,09898	4,518318	8,1	0,8	0,14		1,71	8,19
D2.4	300	<b>200</b>	0,031416	2,652582	5,2	0,8	1,51	80	6,37	90,53
D2.5	1310	<b>355</b>	0,09898	3,676395	2	0,6	1,4		11,35	12,55
D2.6	300	<b>200</b>	0,031416	2,652582	1	0,6	6,55	80	27,65	108,25
D2.7	1010	<b>315</b>	0,077931	3,600045	5,6	0,6	0,15		1,17	4,53
D2.8	560	<b>250</b>	0,049087	3,168952	1	0,6	1,94	60	11,69	72,29
D2.9	450	<b>250</b>	0,049087	2,546479	3,7	0,5	0,2		0,78	2,63
D2.10	250	<b>200</b>	0,031416	2,210485	1	0,6	1,4	55	4,10	59,70
D2.11	200	<b>160</b>	0,020106	2,763107	7,4	0,7	1,4	40	6,41	51,59
D1	1390	<b>315</b>	0,077931	4,954517	3,2	1	0,18		2,65	5,85
D2	3250	<b>450</b>	0,159043	5,676308	3,2	0,8	0,5		9,67	12,23

Tablica 24. Rezultati proračuna dobavnih ventilacijskih kanala

Odsis:										
Dionica	V	D	Astv	vstv	L	R	ζ	Δp <sub>lO</sub>	Δp <sub>lok</sub>	Δp <sub>uk</sub>
	[m <sup>3</sup> /h]	[mm]	[m <sup>2</sup> ]	[m/s]	[m]	[Pa/m]		[Pa]	[Pa]	[Pa]
O0.1	140	160	0,020106	1,934175	3,5	0,4	0,14	20	0,314247	21,71425
O0.2	190	160	0,020106	2,624951	4	0,9	0,14	20	0,578791	24,17879
O0.3	260	160	0,020106	3,592039	11,5	1,3	5,19	20	40,17914	75,12914
O1.1	70	100	0,007854	2,475744	4,6	1	1,4	80	5,148617	89,74862
O1.2	530	250	0,049087	2,999186	2,5	0,6	1,4	20	7,5559	29,0559
O1.3	600	250	0,049087	3,395305	6,8	0,7	-4		-27,6674	-22,9074
O1.4	950	300	0,070686	3,733264	2,5	0,7	0,38		3,177695	4,927695
O1.5	180	160	0,020106	2,486796	1,7	0,6	-	20	-33,7284	-12,7084
							9,09			
O1.6	1130	300	0,070686	4,440619	7,5	0,9	2,39		28,27719	35,02719
O1.7	350	200	0,031416	3,094679	2	0,7	-	30	-8,15964	23,24036
							1,42			
O2.1	250	200	0,031416	2,210485	3,6	0,5	3,11	30	9,117734	40,91773
O2.2	560	315	0,077931	1,996064	1	0,4	2,44	20	5,832975	26,23298
O2.3	810	300	0,070686	3,183099	5,8	0,6	0,7		4,25549	7,73549
O2.4	300	200	0,031416	2,652582	1	0,6	0,46	20	1,941989	22,54199
O2.5	1110	315	0,077931	3,956485	1,5	0,7	1,4		13,14917	14,19917
O2.6	250	200	0,031416	2,210485	2	0,5	2,16	30	6,332574	37,33257
O2.7	300	200	0,031416	2,652582	1	0,6	1,83	30	7,72574	38,32574
O2.8	550	250	0,049087	3,112363	2,4	0,6	0,21		1,220537	2,660537
O2.9	150	200	0,031416	1,326291	1	0,6	-	30	-1,78368	28,81632
							1,69			
O2.10	700	250	0,049087	3,96119	2,2	0,9	1,4		13,18046	15,16046
O2.11	1810	355	0,09898	5,0796	4,7	0,8	0,05		0,77407	4,53407
O2.12	50	100	0,007854	1,768388	8,6	0,7	-7,1	80	-13,3219	72,69814
O2.13	1860	355	0,09898	5,21992	0,9	1	1,35		22,07053	22,97053
O1	1390	315	0,077931	4,954517	3,2	1	2,18		32,10779	35,30779
O2	3250	450	0,159043	5,676308	3,2	0,9	0,5		9,666142	12,54614

*Tablica 25. Rezultati proračuna odsisnih ventilacijskih kanala*

Kritična dionica dobavnih kanala je dionica D0.4 smještena u podrumu Pad tlaka od izlaza iz klimatizacijske jedinice do istrujnog otvora dionice D0.4 iznosi:

$$\Delta p_{\text{krit}}=197,33 \text{ kPa}$$

Kritična dionica odsisnih kanala je dionica O0.1 također smještena u podrumu. Pad tlaka od odsisne rešetke dionice O0.1 do ulaza u klimatizacijsku jedinicu iznosi:

$$\Delta p_{\text{krit}}=128,86 \text{ kPa}$$

## 13 TEHNIČKI OPIS

Tema diplomskog rada je izrada projekta sustava grijanja, hlađenja, ventilacije i pripreme PTV za poslovno – servisnu zgradu smještenu u gradu Zagrebu. Za grijanje se koristi zidni plinski kondenzacijski kotao koji ujedno služi za zagrijavanje potrošne tople vode. Održavanje projektne temperature u sezoni grijanja u podrumskim prostorijama je izvedeno pomoću sustava industrijskog podnog grijanja. Za održavanje projektne temperature u sezoni grijanja/hlađenja u prizemlju i na katu se koristi dvocjevni ventilokonvektorski sustav. Hlađenje se postiže primjenom rashladnika vode sa zrakom hlađenim kondenzatorom smještenim u vanjskom okolišu uz kotlovnici. Sustav pripreme potrošne tople vode je izveden kao akumulacijski sa spremnikom smještenim u kotlovnici. Za ventilaciju zgrade se koristi klimatizacijska jedinica smještena na krovu zgrade. Zrak se u prostorije dobavlja pomoću spiro kanala uz regulaciju protoka pomoću regulatora varijabilnog protoka zraka preko sobnog regulatora sa ugrađenim osjetnikom koncentracije CO<sub>2</sub>. Dakle količina dobavnog zraka ovisi o broju prisutnih ljudi u prostoriji. Odsis iz sanitarnih čvorova je izveden pomoću krovnih odsisnih ventilatora preko spiro kanala za svaki pojedini čvor.

### 13.1 Sustav grijanja

Za potrebe grijanja koristi se zidni plinski kondenzacijski uređaj sa ventilatorskim plamenikom „ecoTEC plus VU INT I 365/5- 5“ proizvođača „Vaillant“. Uređaj je opremljen vlastitom cirkulacijskom pumpom dostatnog kapaciteta za opskrbu razdjelnika i sabirnika ogrjevnom vodom. Hidrauličko odvajanje uređaja od cirkulacijskih krugova je izvedeno pomoću hidrauličke skretnice tipa „WH27“ istog proizvođača. Pri kondenzacijskom temperaturnom režimu 50/30°C ogrjevni učinak mu iznosi 37,1 kW. Uređaj je smješten u kotlovnici zgrade na zidu.

Za regulaciju sustava grijanja (i pripreme PTV) se koristi atmosferski regulator tip „calorMATIC 630/3“ proizvođača „Vaillant“. U isporuci sa regulatorom dolazi vanjski osjetnik za upravljanje sustavom grijanja u ovisnosti o vanjskoj temperaturi. Osjetnik je smješten na sjeverozapadnoj strani ispod vrha zidića krova. Regulator upravlja sa jednim direktnim i dva miješajuća kruga grijanja, spremnikom potrošne tople vode i cirkulacijskom crpkom potrošne tople vode.

Sustav grijanja se sastoji od 3 cirkulacijska kruga: krug podnog grijanja, krug ventilokonvektora i krug grijača klimatizacijske jedinice. Cirkulaciju ogrjevnog vode kroz krug podnog grijanja osigurava cirkulacijska pumpa tip „UPS 15-20 130“ proizvođača „Grundfos“. Kako bi se održao projektni temperaturni režim podnog grijanja 35/30°C koristi se troputni miješajući ventil postavljen ispred pumpe. Miješajući ventil je tipa „VXG44.15-1,6“ proizvođača „Siemens“ sa aktuatorom tipa „SQS65“. Regulator „calorMATIC 630/3“ u ovisnosti o signalu sa uronjenog osjetnika temperature iznad pumpe podnog grijanja daje nalog aktuatoru za promjenu položaja. U slučaju da je temperatura polaznog voda preniska, ventil pomoću aktuatora propušta više ogrjevnog vode iz razdjelnika. U protivnome ga više otvara prema obilaznom povratnom vodu. Krug podnog grijanja je opremljen i graničnim termostatom koji iskapča pumpu u slučaju temperature polaza više od 35°C. To je izvedeno na način da je pumpa spojena na signalni vod iz regulatora preko termostata koji djeluje kao relejni prekidač. Kada termostat osjeti previsoku temperaturu, blokira se signal prema pumpi koja se tada gasi. Regulacija toplinskog učina podnog grijanja po prostorijama je izvedena preko zidnog termostata koji u slučaju da je postignuta tražena temperatura, izdaje nalog termostatu termostatskog ventila. Ventil tada zatvara protok kroz petlju. Petlje podnog grijanja su spojene na zajednički razdjelni podžbukni ormarić tipa „Intera 69“ proizvođača „TTO“ koji je sa bakrenim cijevima  $\Phi 22 \times 1$  mm povezan sa kotlovnicom. Cijevi podnog grijanja su PEX  $\Phi 22 \times 2$  mm proizvođača „Uponor“ pričvršćene za podlogu pomoću pričvrstne trake. Projektni specifični učin poda podruma iznosi  $40 \text{ W/m}^2$  uz razmak cijevi od 45cm.

Cirkulacijski krug ventilokonvektora je opremljen frekventno reguliranom pumpom tipa „MAGNA 1D 32-40“ proizvođača „Grundfos“. Regulacija polazne temperature se temelji na vanjskoj temperaturi. Naime, u regulatoru „calorMATIC“ se nalaze uprogramirane regulacijske krivulje potrebne polazne temperature vode u pojedinom cirkulacijskom krugu u ovisnosti o vanjskoj temperaturi. Prema tome, pri promjeni vanjske temperature, slično kao i kod kruga podnog grijanja, regulator izdaje nalog aktuatoru ventila koji tada mijenja odnos miješanja vode iz povrata sa vodom iz razdjelnika, sve u ovisnosti o rezultirajućoj temperaturi polaza. Temperaturu polaza regulira uronjeni osjetnik temperature. Regulaciju učina po prostorijama vrše zidni termostati. Oni ovisno o potrebi izdaju naloge aktuatorima AB-QM ventila koji pritvaraju i otvaraju protok kroz ventilokonvektore. AB-QM ventili su ugrađeni na povratnom vodu svakog ventilokonvektora, a kako AB-QM ima osim funkcije regulacijskog ventila i funkciju balansirajućeg ventila, cijevna mreža je uvijek hidraulički

izbalansirana. Korišteni su dvocjevni ventilokonvektori tipa „Divio 700“ i „Divio 900“ proizvođača „CIAT“.

Cirkulacijski krug grijača/hladnjaka klimatizacijske jedinice je opremljen frekventno reguliranom pumpom tipa „ALPHA 2 25-40 180“ proizvođača „Grundfos“. Za razliku od prethodna dva cirkulacijska kruga, krug klimatizacijske jedinice nema regulacije polazne temperature. Naime, kako je klimatizacijska jedinica smještena na krovu, regulacija temperature u kotlovnici bi rezultirala pretromim odzivom grijača. Grijač mora biti u stanju čim dinamičnije mijenjati učin kako bi se prilagodio ulaznim temperaturama zraka i zadovoljio traženu temperaturu dobavnog zraka. Iz tog razloga se regulacija temperature vrši pri samom grijaču pomoću tlačno neovisnog regulacijsko balansirajućeg ventila tipa „AB-QM 20“ proizvođača „Danfoss“. Ventil je opremljen aktuatorom kojim upravlja regulator klimatizacijske jedinice na temelju osjetnika temperature dobavnog zraka. Ako je temperatura zraka niža od tražene, aktuator otvara AB-QM ventil pri čemu se zbog većeg protoka ogrjevnice vode prema grijaču mijenja odnos miješanja sa vodom iz povrata preko prestrujnog ventila. Time raste temperatura polaza i grijaču raste učin. Cirkulacijska pumpa grijača/hladnjaka klimatizacijske jedinice te prestrujni vod i priključci dolaze u opseg isporuke klimatizacijske jedinice. AB-QM ujedno i ograničava protok kroz cirkulacijski krug klimatizacijske jedinice te time hidraulički balansira krug.

Sve cijevi unutar kotlovnice i cijevi prema klimatizacijskoj jedinici su toplinski izolirane „Armaflex XG“ izolacijom debljine 13mm i obložene Al limom koji služi kao mehanička zaštita.

### 13.2 Sustav hlađenja

Za potrebe hlađenja koristi se rashladnik vode sa zrakom hlađenim kondenzatorom tip „Aquaciat LD 80V“ proizvođača „CIAT“. Pri temperaturnom režimu 7/12°C rashladni učin mu iznosi 20,8kW (EER=3,05). Rashladnik je smješten u vanjskom okolišu u blizini kotlovnice. Opremljen je aksijalnim ventilatorom i integriranom cirkulacijskom crpkom dovoljnog kapaciteta za opskrbu krugova ventilokonvektora i kruga klimatizacijske jedinice sa rashladnom vodom. U sklopu uređaja opcijski su odabrani sljedeće komponente: hidraulički modul volumena  $V=100\text{l}$  (prema preporuci proizvođača) koji ima funkciju smanjiti broj ukapčanja kompresora rashladnika pri smanjenom opterećenju; membranska ekspanzijska posuda volumena 10L sa sigurnosnim ventilom R1/2“. Regulacija kompresora je on/off, dakle 100-0% a vrši se preko integriranog regulatora na temelju presostata visokog i

niskog tlaka na tlačnom i usisnom vodu kompresora te preko uronjenog osjetnika temperature povratnog voda. Integrirana pumpa je opremljena sa frekventnom regulacijom tako da prilagođava protok potrebama potrošača. U slučaju preniske temperature polaza, kako bi se spriječilo smrzavanje, u polaznom vodu je smješten granični termostat koji iskapča pumpu što ima za posljedicu iskapčanje kompresora.

Sustav hlađenja se sastoji od dva cirkulacijska kruga: cirkulacijski krug ventilokonvektora i cirkulacijski krug klimatizacijske jedinice. Polazni vodovi se prikapčaju na polazne vodove razvoda ventilokonvektora i hladnjaka klima komore iznad nepovratnih ventila pripadajućih pumpi sustava grijanja. Na taj način je osigurano da rashladna voda struji samo u smjeru ventilokonvektora i klimatizacijske jedinice. Regulacija rashladnog učina pojedinih potrošača je promjenom protoka pomoću AB-QM ventila kojima je jedno i hidraulički izbalansiran. Regulacija aktuatora se vodi na isti način kao i u grijanju samo prema traženoj temperaturi unutarnjeg zraka u sezoni hlađenja ( $\vartheta_{\text{int}}=26^{\circ}\text{C}$ ) preko zidnih termostata za ventilokonvektore. Hladnjak se regulira na sličan način kao i grijač u režimu grijanja samo prema traženoj temperaturi dobavnog zraka u ljetnom periodu ( $\vartheta_{\text{int}}=26^{\circ}\text{C}$ ).

Kako je rashladnik vode izravno spojen na cirkulacijske krugove potrebno mu je prije početka sezone grijanja ispustiti vodu kako nebi došlo do smrzavanja i oštećenja uređaja. To se izvodi preko PP slavina postavljenih prije zapornih ventila na strani rashladnika vode u najnižoj točki cjevovoda. Ispražnjena cijevna instalacija uređaja se puni dušikom kako bi se spriječila eventualna korozija.

Cijevi razvoda ventilokonvektora i hladnjaka klimatizacijske jedinice su toplinski izolirane „Armaflex XG“ paronepropusnom izolacijom debljine 13mm kako bi se smanjili toplinski gubici te kako bi se spriječila kondenzacija vlage na površini cijevi. Cijevi između rashladnika vode i kotlovnice te u kotlovnici su još dodatno obložene aluminijskim limom.

### 13.3 Sustav ventilacije

Za potrebe pokrivanja higijenskog minimuma u zgradi, dakle za dobavu zraka za disanje ljudima, koristi se klimatizacijska jedinica dvoetažne izvedbe tipa „ProkPAKT Thor TB2“ proizvođača „Proklima“. Jedinica je smještena na ravnom krovu zgrade. Komponente jedinice su u smjeru strujanja dobavnog zraka sljedeće: zaklopka na svježem zraku, filter klase F7, pločasti rekuperator (učinkovitost povrata topline: grijanje – 88,4%; hlađenje – 80,8%), ventilator dobavnog zraka nazivne snage motora 1,65kW, grijač/hladnjak (5,5/1,73kW). Komponente u smjeru strujanja otpadnog zraka su sljedeće: filter klase F7, ventilator

odsisnog zraka nazivne snage motora 1,65 kW, pločasti rekuperator topline, zaklopka na strani otpadnog zraka.

Klimatizacijska jedinica u projektnim uvjetima dobavlja 3300m<sup>3</sup>/h zraka u glavni tlačni kanal koji se od krova uz zajednički zid sa proizvodnom halom vertikalno spušta prema prodorima kroz zid za svaku pojedinu etažu. Odabrani su kanali okruglog poprečnog presjeka. Zrak se u prostorije ubacuje preko stropnih distributera tipa „DK“ proizvođača „Klimaoprema“ tamo gdje je potrebna količina ubacivanog zraka prikladna za korištenje stropnih distributera (>150m<sup>3</sup>/h). Za manje protoke zraka su odabrani zračni ventili tip „ZOT“ i dobavne rešetke tip „OAB“ proizvođača „Klimaoprema“. Dobavne rešetke se primjenjuju u podrumskim prostorijama te su izravno bočno spojene na kanale. Odsis je izveden preko odsisnih rešetki tipa „OAB“ proizvođača „Proklima“. U podrumskim prostorijama su izravno spojene na kanale a u ostatku prostorija preko priključnih kutija. Odsisna vertikala se nalazi uz tlačnu uz zid na strani proizvodne hale te vodi prema krovu do klimatizacijske jedinice.

Sustav ventilacije omogućuje varijabilni protok zraka, prema zahtjevima u pojedinim prostorijama. Iz tog razloga se koriste regulatori varijabilnog protoka zraka „RVP-C“ cilindrične izvedbe. Količina protoka se regulira zakretanjem zaklopke u ovisnosti o osjetniku koncentracije CO<sub>2</sub>, integriranog u sobni regulator tip „Codis 45 VAV“ proizvođača „Klimaopreme“. Porastom koncentracije CO<sub>2</sub>, dakle povećanjem broja ljudi prisutnih u prostoriji, sobni regulator daje nalog elektromotornom pogonu regulatora varijabilnog protoka za otvaranje zaklopke. Povećanje protoka zraka se odvija istovremeno za dobavu i za odsis. Na taj način se koncentracija CO<sub>2</sub> u prostoriji drži u prihvatljivim granicama. Regulatori varijabilnog protoka istovremeno balansiraju protok zraka po kanalskom razvodu. Klimatizacijska jedinica se prilagođava potrebnoj količini protoka preko osjetnika tlaka smještenog u tlačni kanal na etaži pri kraju najdalje dionice. Smanjenjem potrebne količine zraka, pogoni regulatora protoka pritvaraju zaklopke. Na taj način dolazi do povećanja otpora strujanju i porastu statičkog tlaka u kanalima. Regulator klimatizacijske jedinice dobiva od osjetnika tlaka signal o povećanju tlaka te smanjuje broj okretaja ventilatora dok se ne uspostavi traženi protok. Odsisni ventilator prati tlačni i to linearno.

Odsis iz sanitarija je izveden neovisno o ventilaciji prostorija. U svakom sanitarnom čvoru se nalaze po dva odsisna zračna ventila tipa „ZOT“ proizvođača „Klimaoprema“ preko kojih krovni ventilatori odsisavaju zrak iz sanitarija prema vanjskom okolišu. Odabrani kanali su okruglog poprečnog presjeka. Regulacija rada ventilatora je on/off prema prekidaču

svijetla u sanitarijama. Odsisani zrak iz santarnih čvorova se nadomješta sa zrakom iz susjednih prostora preko prestrujnih rešetki na vratima.

### 13.4 Priprema PTV

Priprema PTV radi tokom cijele godine a za grijanje vode se koristi spiralni toplovodni grijač kapaciteta 6kW integriran u spremnik potrošne tople vode tip „uniSTOR VIH R 150/6“ proizvođača „Vaillant“. Spremnik je izrađen od čelika, emajliran sa unutarnje strane. Sa vanjske strane je toplinski izoliran i obložen sa plastificiranim čeličnim limom. Spremnik je samostojeći, cilindrične izvedbe. Ogrjevu vodu za zagrijavanje PTV dobavlja plinski kondenzacijski uređaj pri temperaturnom režimu 80/60°C. Dakle, dok se zagrijava PTV, plinski uređaj ne radi u kondenzacijskom modu. U sezoni grijanja to znači da regulator „calorMATIC“ u sprezi sa osjetnicima temperature polaznog voda, daje naloge aktuatorima miješajućih ventila za pritvaranje kako u miješajuće cirkulacijske krugove nebi došla ogrjevna voda previsoke temperature. Cirkulacijski krug klimatizacijske jedinice vrši regulaciju učina protokom, pomoću AB-QM ventila. U ostatku godine, jedina funkcija plinskog uređaja je zagrijavanje PTV. Regulaciju rada sustava pripreme PTV vrši „calorMATIC“ atmosferski regulator na način da uključuje i isključuje pumpu grijača PTV-a u ovisnosti o osjetniku vode uronjenog u spremnik. Regulator također upravlja radom recirkulacijske crpke potrošne tople vode na osnovi odabranog vremenskog rasporeda kako crpka nebi nepotrebno stalno radila. Kada plinski uređaj grije samo PTV, kada se postigne tražena temperatura vode u spremniku ( $\vartheta_w=60^{\circ}\text{C}$ ) regulator uz pumpu gasi i plinski uređaj.



## 14 ZAKLJUČAK

Diplomskim radom je bilo potrebno odabrati sustav grijanja, hlađenja i ventilacije uz pripremu PTV prema obavljenoj analizi energetskega zahtjeva termotehničkog sustava, potrebne za procjenu pogonskih troškova i procijene investicijskih troškova za tri varijante rješenja sustava.

Prva varijanta rješenja se sastoji od sljedećih komponenti: kotao na pelete za grijanje i pripremu PTV, VRV sustav za hlađenje zgrade te elementi sustava ventilacije sa varijabilnim protokom dobavnog zraka. Provedenom analizom procijenjena investicijska vrijednost ovog sustava iznosi 411.241,00 kn (s PDV-om). Procijenjeni godišnji pogonski troškovi iznose 14.418,87 kn (s PDV-om).

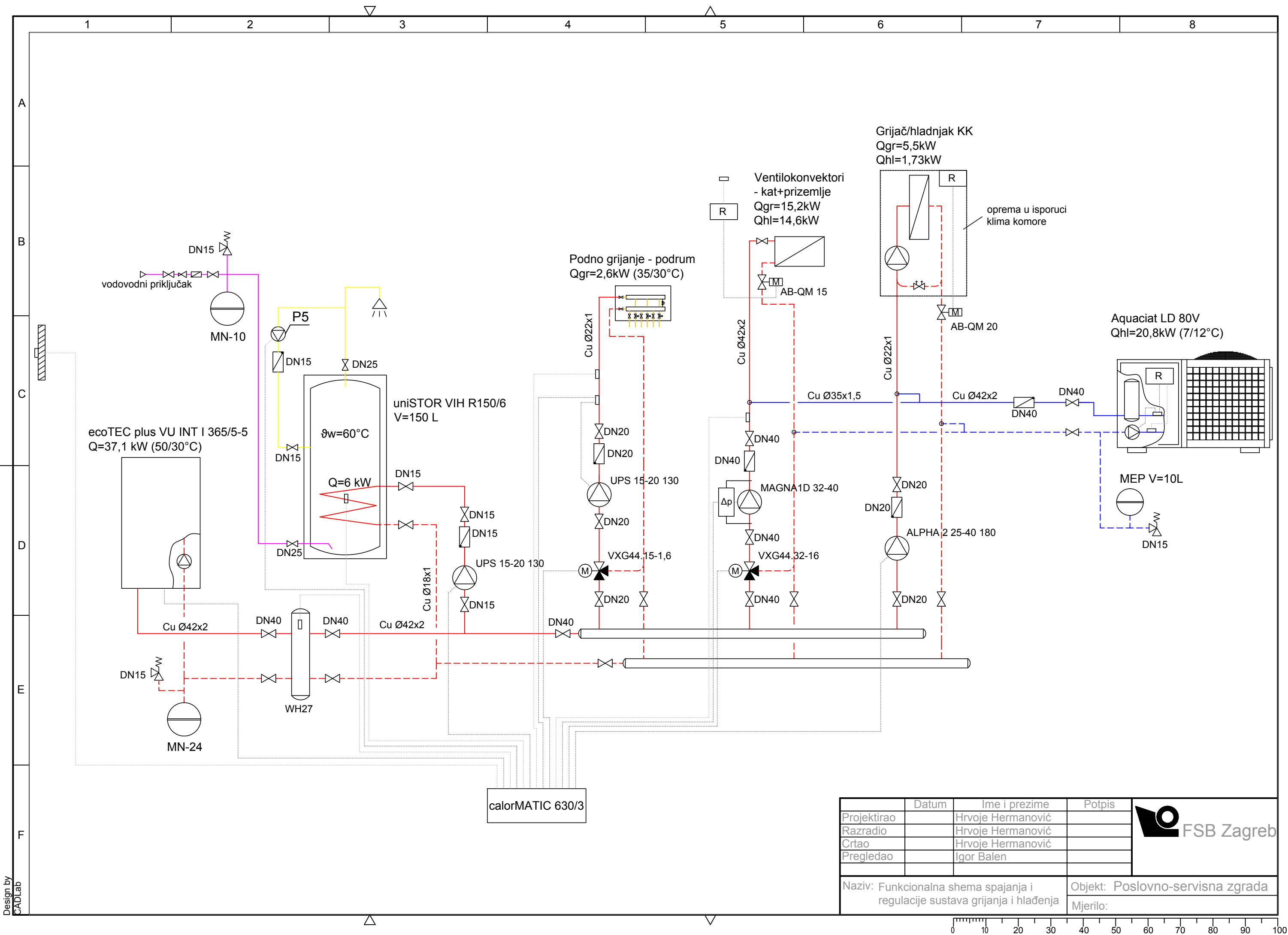
Druga varijanta rješenja sustava se sastoji od sljedećih komponenti: plinski kondenzacijski kotao za grijanje i pripremu PTV, rashladnik vode sa zrakom hlađenim kondenzatorom za hlađenje te elementi sustava ventilacije sa varijabilnim protokom zraka. Provedenom analizom procijenjena investicijska vrijednost ovog sustava iznosi 350.953,00 (s PDV-om). Procijenjeni godišnji pogonski troškovi iznose 14.332,5 kn (s PDV-om).

Treća varijanta rješenja sustava se sastoji od sljedećih komponenti: geotermalna dizalica topline podzemna voda / voda za potrebe grijanja i hlađenja zgrade, djelomično za pripremu PTV-a (za vrijeme sezone grijanja) uz dodatni električni grijač spremnika te elemenata sustava ventilacije sa varijabilnim protok zraka. Provedenom analizom procijenjena vrijednost ovog sustava iznosi 484.957,00 kn (s PDV-om). Procijenjeni godišnji pogonski troškovi iznose 12.510,00 kn (s PDV-om).

Na temelju usporedbe ukupnih troškova (investicijskim i pogonskim) kroz period korištenja od 20 godina (uz uzeto pojednostavljenje da se cijene energenata ne mijenjaju u tom periodu) odabrana je treća varijanta sustava kao najoptimalnija jer ima daleko nižu investicijsku vrijednost od druga dva sustava. Naime, pogonski troškovi su za prvu i drugu varijantu gotovo izjednačeni. Dizalica topline ima najniže pogonske troškove međutim, zbog visokih investicijskih troškova nije isplativa.

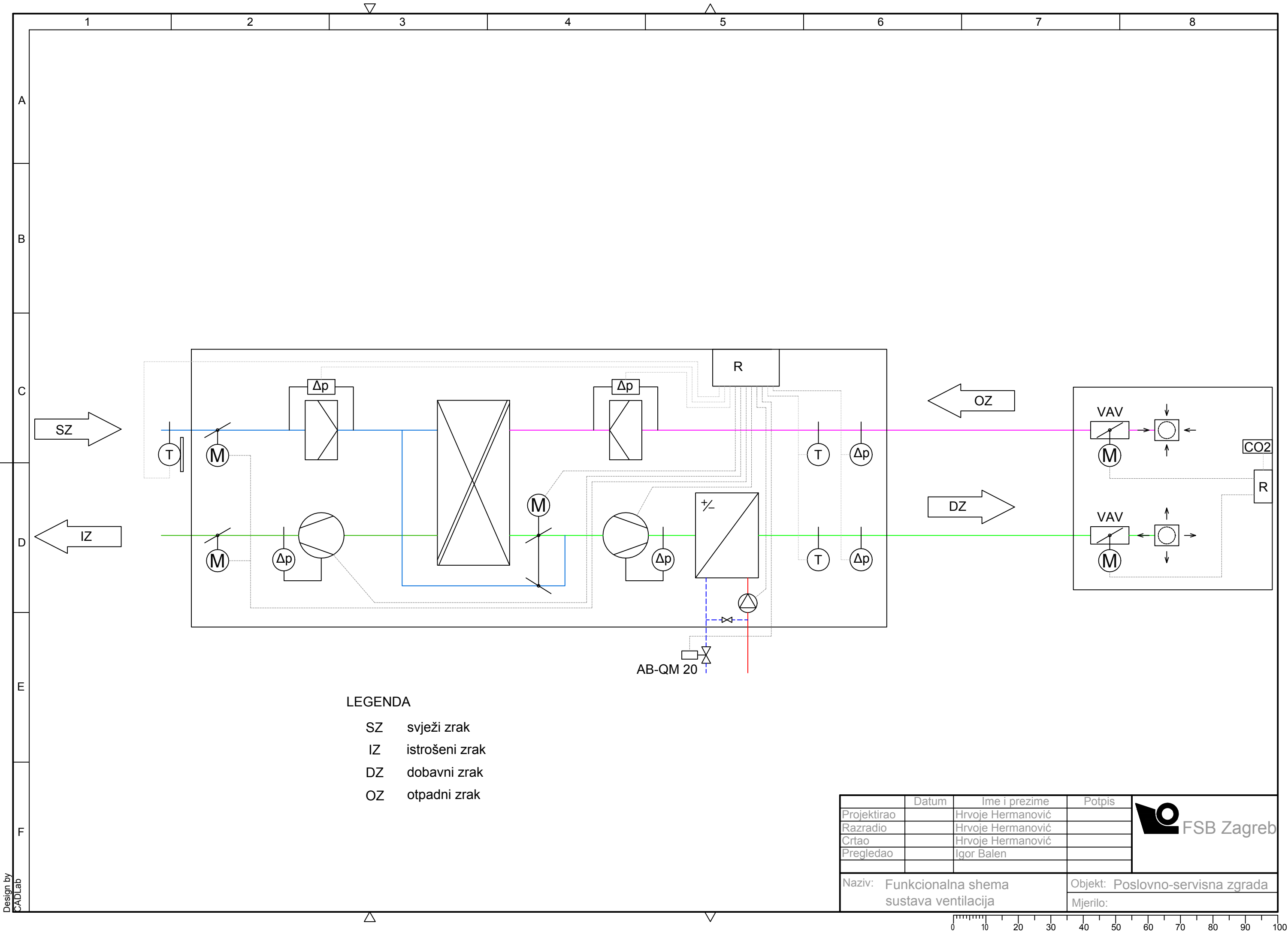
## **LITERATURA**

- [1] <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/primary-energy-consumption-by-fuel-6/assessment>
- [2] <http://www.wpz.ch/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=43058&token=1cb1c02a4d>
- [3] Podloge za vježbe HRN EN 12831 iz kolegija Grijanje, FSB
- [4] Cooling load calculation of air-conditioned rooms VDI2078, 1996
- [5] Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prema HRN EN 13790: D.Dović, 2015.
- [6] Predavanja iz kolegija Klimatizacija: I.Balen, FSB
- [7] ASHRAE Standards 62
- [8] Grijanje i klimatizacija: Recknagel, Sprenger; 2002.
- [9] Algoritam za proračun potrebne energije za primjenu ventilacijskih i klimatizacijskih sustava kod grijanja i hlađenja prostora zgrade: D. Dović, 2015
- [10] Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih susatava u zgradama: D.Dović, 2015
- [11] [http://www.mgipu.hr/doc/EnergetskaUcinkovitost/FAKTORI\\_primarne\\_energije.pdf](http://www.mgipu.hr/doc/EnergetskaUcinkovitost/FAKTORI_primarne_energije.pdf)




	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao		Hrvoje Hermanović	
Razradio		Hrvoje Hermanović	
Crtao		Hrvoje Hermanović	
Pregledao		Igor Balen	
Naziv: Funkcionalna shema spajanja i regulacije sustava grijanja i hlađenja			Objekt: Poslovno-servisna zgrada
			Mjerilo:

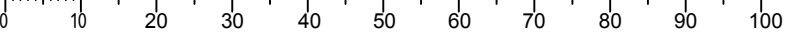


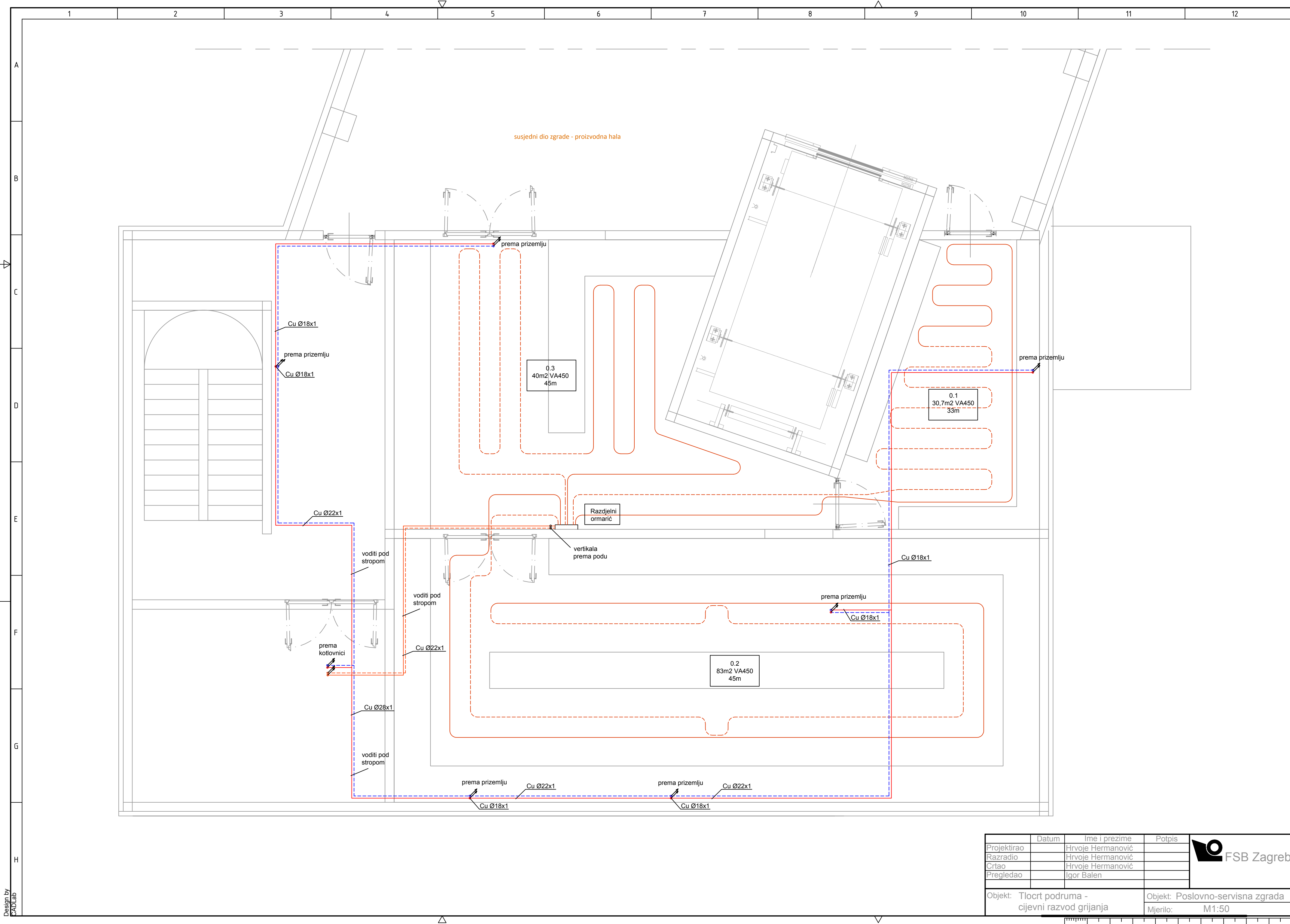


LEGENDA

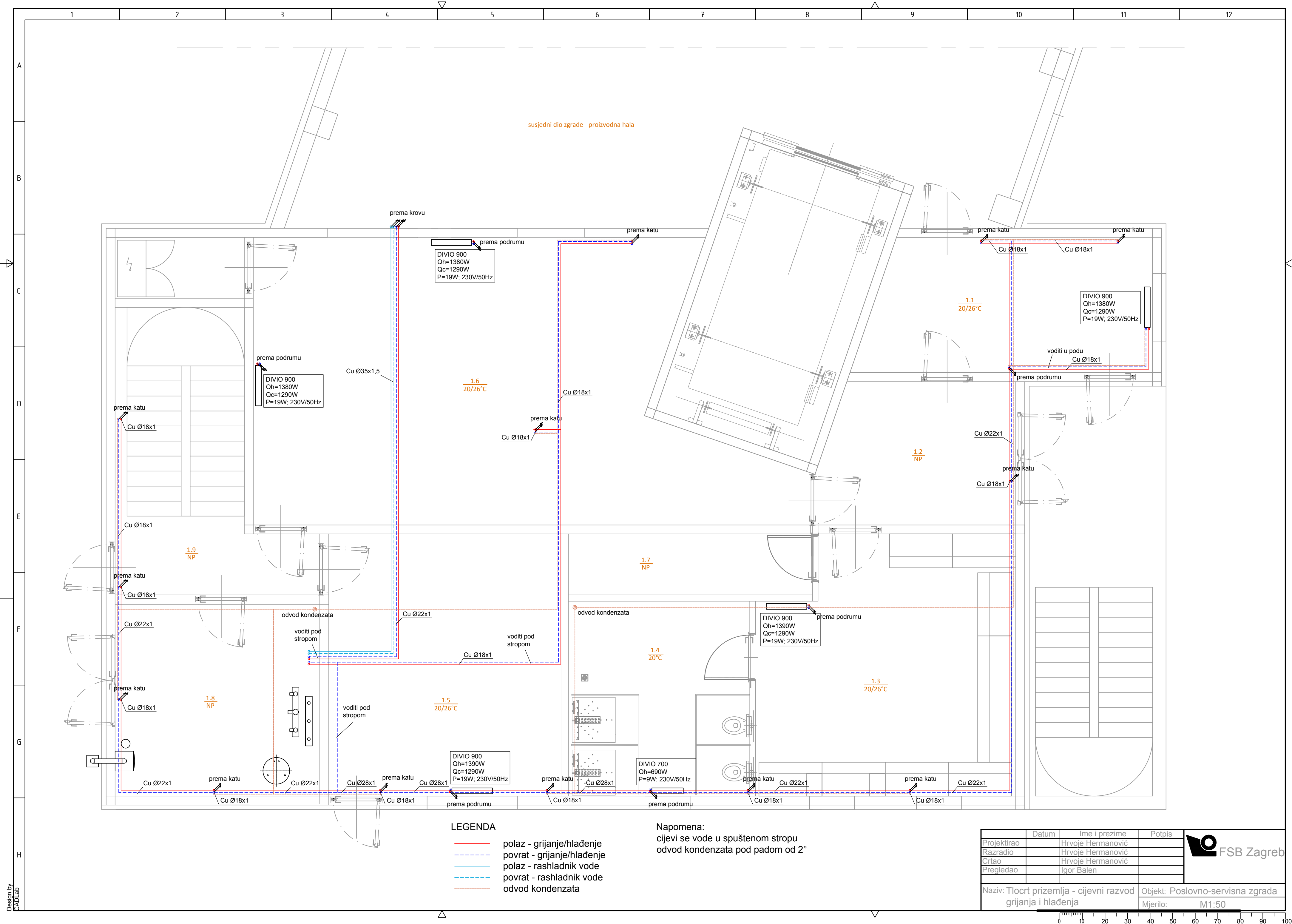
- SZ svježi zrak
- IZ istrošeni zrak
- DZ dobavni zrak
- OZ otpadni zrak

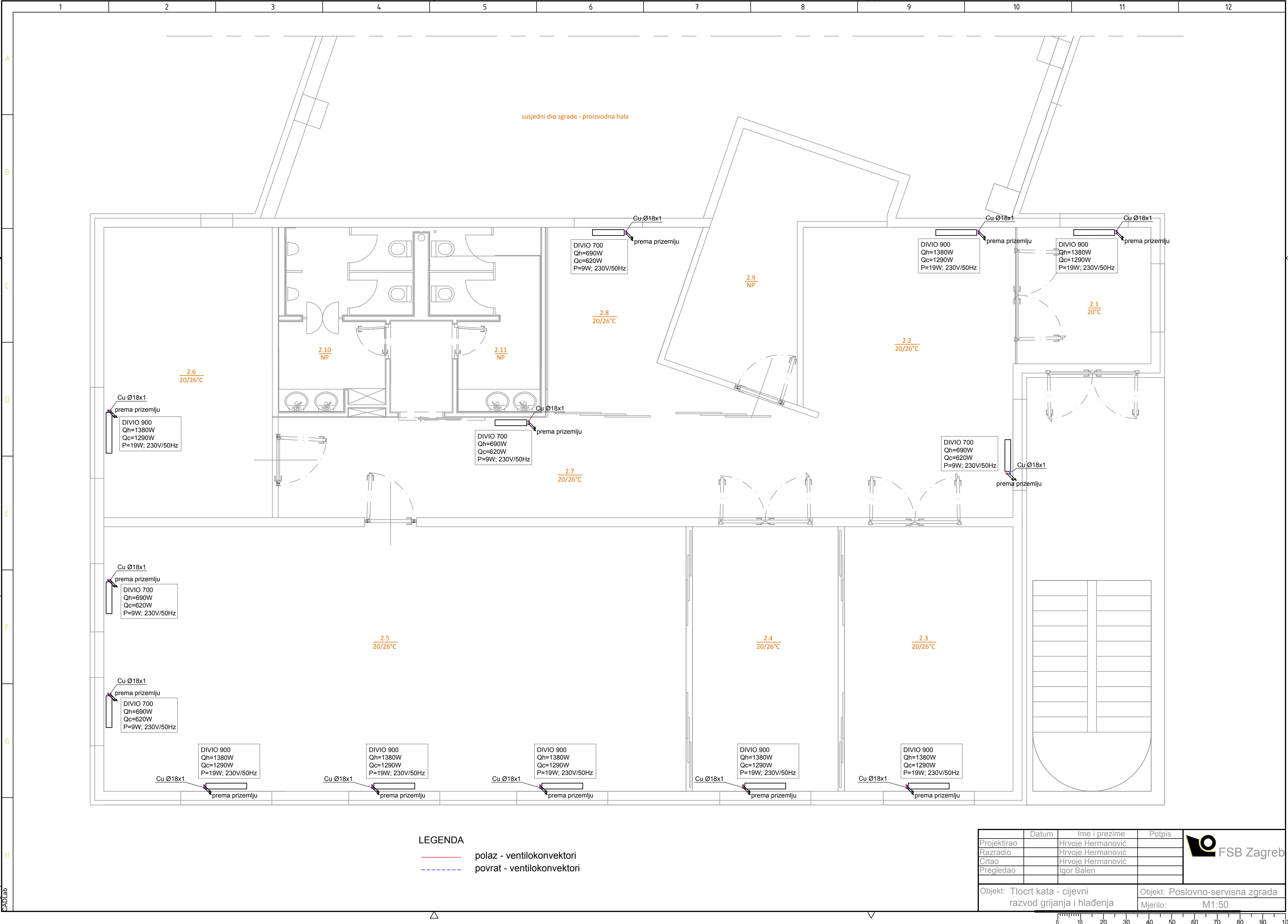
	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao		Hrvoje Hermanović		
Razradio		Hrvoje Hermanović		
Crtao		Hrvoje Hermanović		
Pregledao		Igor Balen		
Naziv: Funkcionalna shema sustava ventilacija			Objekt: Poslovno-servisna zgrada	
			Mjerilo:	





	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao		Hrvoje Hermanović		
Razradio		Hrvoje Hermanović		
Crtao		Hrvoje Hermanović		
Pregledao		Igor Balen		
Objekt: Tlocrt podruma - cijevni razvod grijanja			Objekt: Poslovno-servisna zgrada	
			Mjerilo: M1:50	




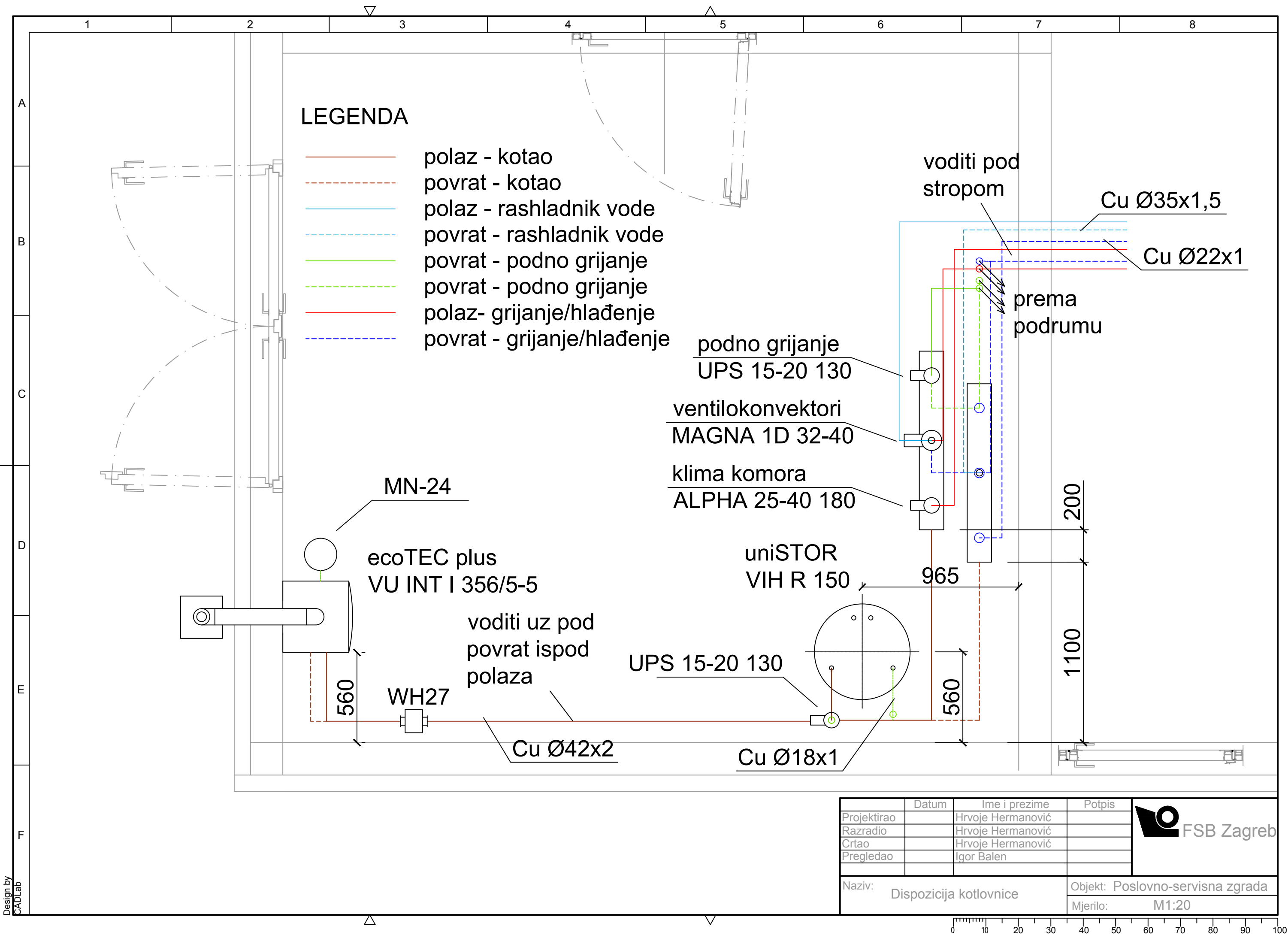


LEGENDA

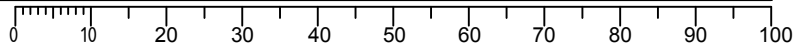
— polaz - ventilokonvektori

- - - povrat - ventilokonvektori

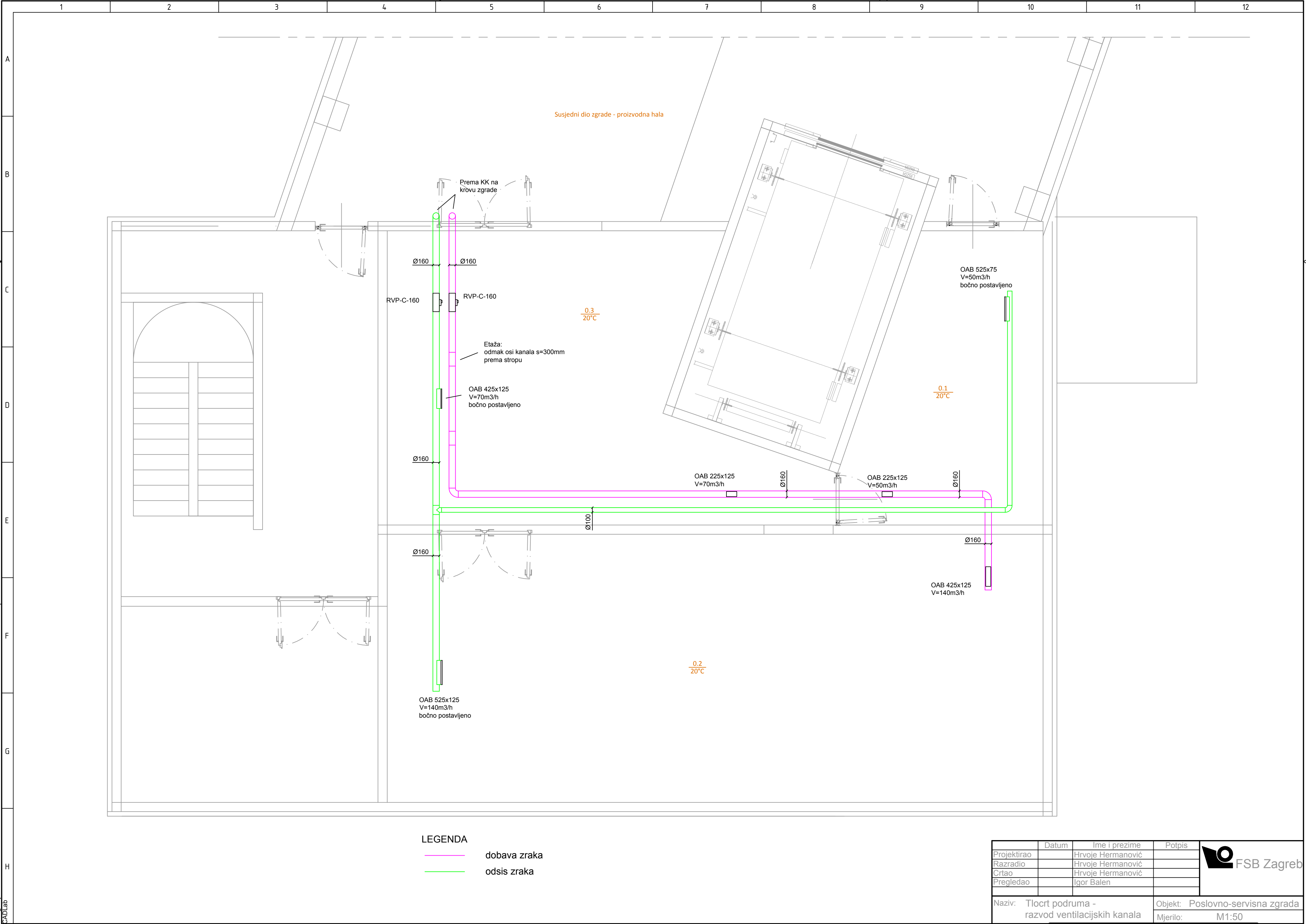
	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao		Hrvoje Hermanović		
Razradio		Hrvoje Hermanović		
Crtao		Hrvoje Hermanović		
Pregledao		Igor Balen		
Objekt: Tlocrt kata - cijevni razvod grijanja i hlađenja			Objekt: Poslovno-servisna zgrada	
			Mjerilo: M1:50	



	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao		Hrvoje Hermanović	
Razradio		Hrvoje Hermanović	
Crtao		Hrvoje Hermanović	
Pregledao		Igor Balen	
Naziv: Dispozicija kotlovnice			Objekt: Poslovno-servisna zgrada
			Mjerilo: M1:20





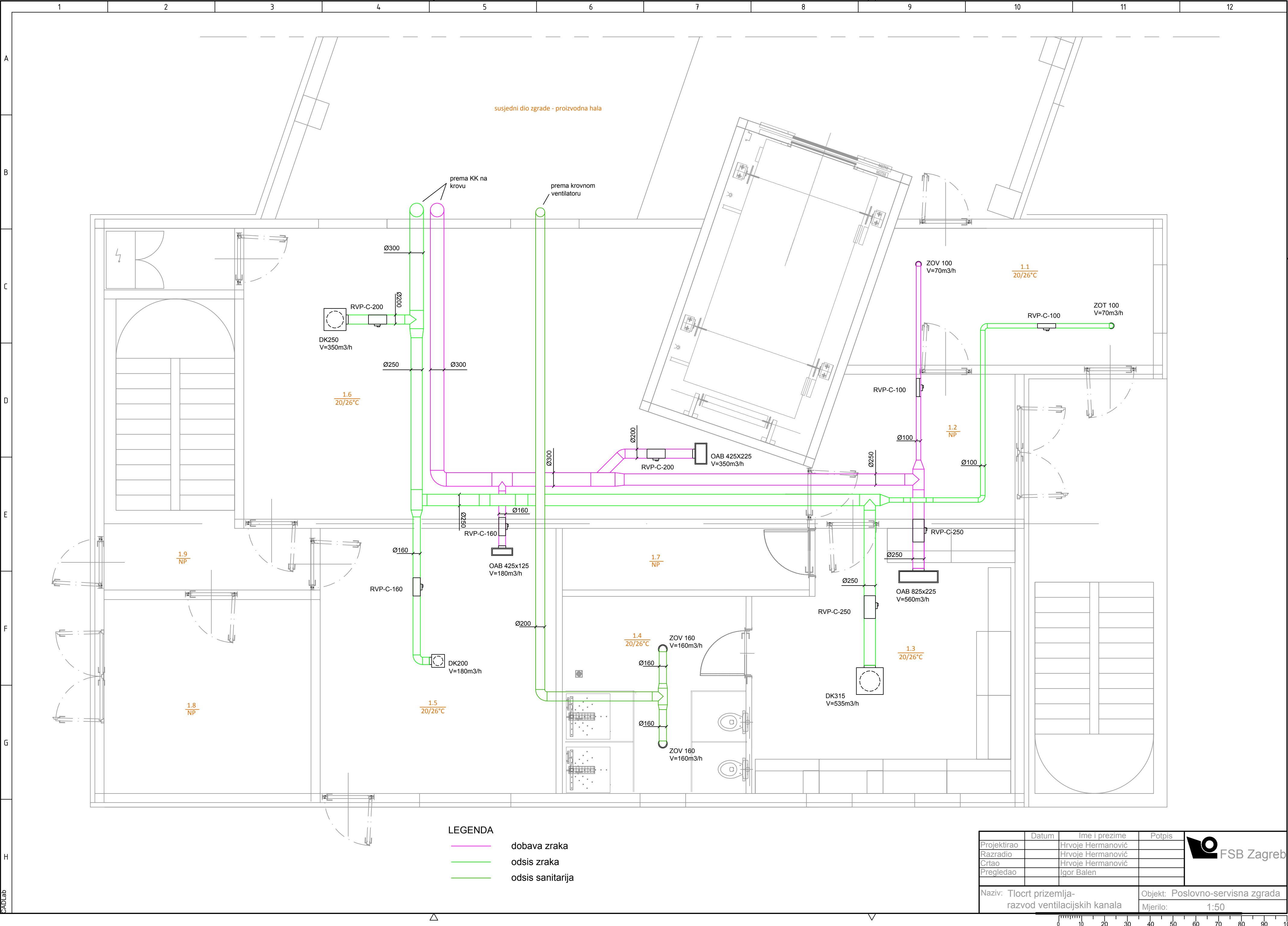


LEGENDA

— dobava zraka

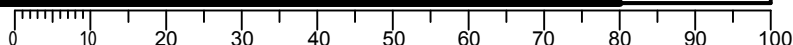
— odsis zraka

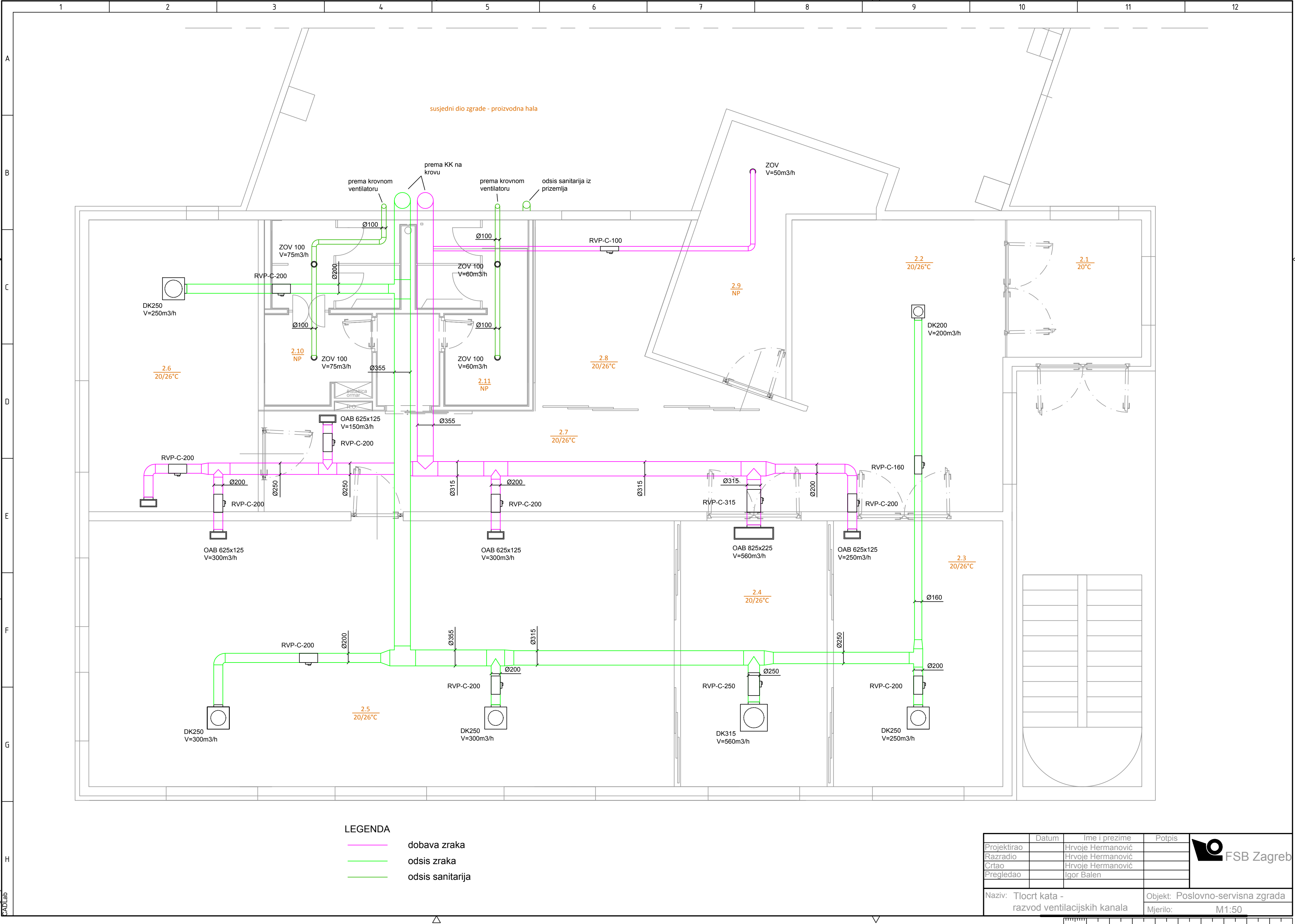
	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao		Hrvoje Hermanović		
Razradio		Hrvoje Hermanović		
Crtao		Hrvoje Hermanović		
Pregledao		Igor Balen		
Naziv: Tlocrt podruma - razvod ventilacijskih kanala			Objekt: Poslovno-servisna zgrada	
			Mjerilo: M1:50	

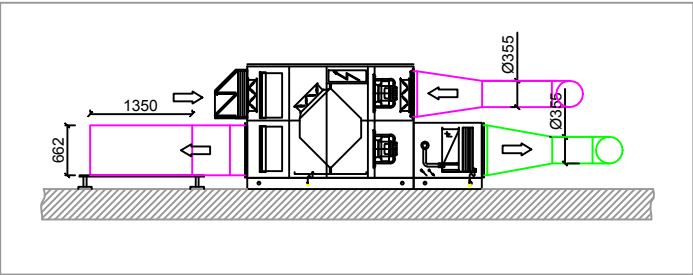
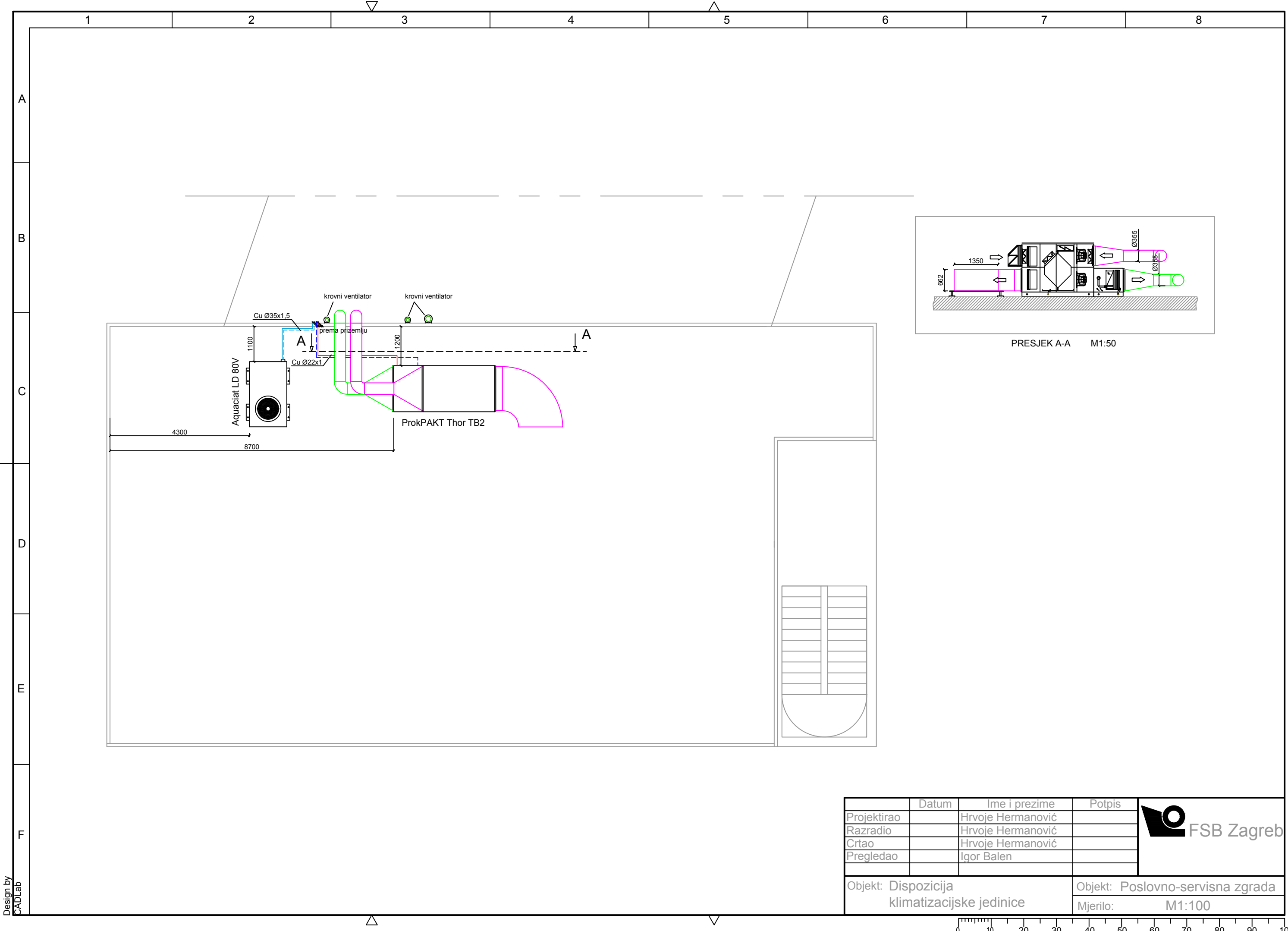


- LEGENDA
- dobava zraka
  - odsis zraka
  - odsis sanitarija


	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao		Hrvoje Hermanović		
Razradio		Hrvoje Hermanović		
Crtao		Hrvoje Hermanović		
Pregledao		Igor Balen		
Naziv: Tlocrt prizemlja- razvod ventilacijskih kanala			Objekt: Poslovno-servisna zgrada	
			Mjerilo: 1:50	







PRESJEK A-A M1:50

	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao		Hrvoje Hermanović		
Razradio		Hrvoje Hermanović		
Crtao		Hrvoje Hermanović		
Pregledao		Igor Balen		
Objekt: Dispozicija klimatizacijske jedinice			Objekt: Poslovno-servisna zgrada	
			Mjerilo: M1:100	